N° d'ordre 54

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

(MENTION SCIENCES)

PAR

M. - Reza H. - GHAFOURI

LICENCIÉ ÈS SCIENCES (Téhéran)

Étude hydrogéologique :
des sources thermo-minérales des Pyrénées

---

soutenue en juin 1968, devant la Commission d'Examen :

MM. H. SCHOELLER, *Professeur* ..... *Président*

M. GOTTIS, *Professeur* .....

M. CLIN, *Professeur* ..... *Examinateurs*

Marc SCHOELLER, *Docteur ès Sciences*
Chargé de recherches au C.N.R.S.

— 1968 —

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549617_0001

N° d'ordre 54

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

(MENTION SCIENCES)

PAR

M. - Reza H. - GHAFOURI

LICENCIÉ ÈS SCIENCES (Téhéran)

Étude hydrogéologique :
des sources thermo-minérales des Pyrénées

soutenue en juin 1968, devant la Commission d'Examen :

MM. H. SCHOELLER, *Professeur* ..... *Président*

M. GOTTIS, *Professeur* .....

M. CLIN, *Professeur* ..... *Examinateurs*

Marc SCHOELLER, *Docteur ès Sciences*
Chargé de recherches au C.N.R.S.

— 1968 —

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

UNIVERSITÉ

DE BORDEAUX

Doyen honoraire : M. BRUS

Doyen : M. CALAS

Professeurs honoraires :

M. KASTLER	Professeur à la Sorbonne
M. PISOT	Professeur à la Sorbonne
Mlle JOSIEN	Professeur à la Sorbonne
M. MILLOUX	
M. DANGEARD	
M. CAU	
M. GENEVOIS	

Professeurs -

M. BRUS	Chimie
M. AVEL	Zoologie et physiologie animale
M. ROUSSET	Physique générale
M. ROGER	Mécanique rationnelle
M. WEILL	Anatomie comparée et embryogénie
M. DUFRESNOY	Mathématiques générales
M. LAFON	Physiologie générale
M. BOUNHIOL	Biologie animale
M. SERVANT	Physique
M. CALAS	Chimie organique
M. GAY	Cristallographie et minéralogie
M. PACAULT	Chimie physique
M. SCHOELLER	Géologie
M. DAVID	Physiologie végétale
M. COLMEZ	Méthodes mathématiques de la physique
M. CAMBAR	Biologie animale
M. VIGNEAUX	Géologie
M. PANOUSE	Zoologie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. ARZELIES	Physique (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. RIBEREAU-GAYON	Oenologie et chimie agricole
M. RISS	Mathématiques
M. GUIZONNIER	Physique
M. HAGET	Zoologie expérimentale
M. SEMIROT	Astronomie
M. CHASTEL	Physique nucléaire
M. HAGENMULLER	Chimie minérale
M. CREAC'H	Biologie animale
M. LOUDETTE	Mécanique physique
M. PATY	Chimie

M. BORDES	Préhistoire
M. SECHET	Botanique
M. BAGANAS	Mathématiques
M. VALENTIN	Radioélectricité
M. LAFARGUE	Physique - C.S.U. de PAU
M. ENNOUCHI	Géologie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. EYME	Botanique
M. RUAMPS	Physique électronique
M. DESCHAMPS	Chimie - C.S.U. de PAU
M. FRAINNET	Chimie organique
M. HOARAU	Chimie physique
M. MARCHAND	Chimie
M. LALANDE	Chimie appliquée
M. GOTTIS	Géologie dynamique
M. LEMANCEAU	Chimie
M. CARDO	Psychophysiologie
M. ROCH	Physique
M. BELLON	Chimie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. CLASTRE	Cristallographie physique
M. JOUSSOT-DUBIEN	Chimie
M. VALADE	Chimie organique
M. SURDIN	Automatique
M. BLONDEL	Mathématiques
M. SOURISSEAU	Chimie
M. MAYER	Physique - C.S.U. de PAU
Mlle FAURE-MURET	Géologie (détachée à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. CLIN	Géologie
M. LOCHET	Physique
M. VINDT	Biologie végétale
M. REGNIER	Mathématiques
Mlle LAFFITTE	Physique
M. DESTRIAU	Chimie
M. PETIT	Physique corpusculaire
M. BARAUD	Chimie biologique
M. EMBERGER	Géologie
M. BOTHOREL	Chimie
M. CHARRU	Physique
M. SIMONOFF	Chimie physique
M. LASCOMBE	Chimie
M. RIMPAULT	Physique théorique
M. BONASTRE	Chimie - CS.U. de PAU
M. BARETS	Biologie animale
M. GROMB	Chimie - C.S.U. de PAU
M. PINEAU	Chimie
M. LEVEQUE	Géologie approfondie
M. BOUSSEAU	Physique

M. MENNRATH	Physique
M. ANDRE	Biologie générale
M. BOUAS-LAURENT	Chimie organique
M. N...	Biochimie
M. N...	Informatique
M. N...	Calcul infinitésimal

Maître de conférences honoraire -

M. DE PUYMALY

Maîtres de conférences -

M. RIBEREAU GAYON Pascal	Chimie oenologie
M DUPUY	Physique - C.S.U. de PAU
M. LACAZE	Physique - C.S.U. de PAU
Mlle DUTRIEU	Physiologie animale
M. RAULT	Chimie minérale
Mme PETIT	Physique
M. BERNET	Génétique
M. GOMEL	Chimie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. BABIN	Physique - C.S.U. de PAU
M. FRESNEL	Mathématiques
M. MOYES	Géologie
M. LUTZ	Botanique
M. MOULINES	Chimie
M. METRAS	Chimie - C.S.U. de PAU
M. POUCHARD	Chimie minérale
M. SARDOS	Physique
M. MATTENET	Mathématiques - C.S.U. de PAU
M. LESCA	Mathématiques
M. ARTOLA	Mathématiques
M. DUMERY	Mécanique
M. DE MAHTAN	Mathématiques
M. BECKER	Mathématiques
M. N...	Physique - C.S.U. de PAU
M. N...	Physique théorique
M. N...	Physique théorique
M. N...	Mathématiques - C.S.U. de PAU

Conseiller Administratif -

M. LLORENS

A MON PERE et à MA MERE

Avec toute mon affection et ma
profonde reconnaissance

A MA FEMME

Avec tout mon Amour.

AVANT-PROPOS

Les études qui font l'objet de ce travail ont été effectuées dans le cadre du Centre d'Hydrogéologie et du Laboratoire de géologie du Professeur SCHOELLER à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Il nous est un agréable devoir d'exprimer à Monsieur le Professeur SCHOELLER notre imense gratitude. Nous ne pourrons pas oublier la confiance qu'il nous a faite en nous acceptant dans son Centre de Recherches, et aussi l'enseignement et les Conseils, qu'il nous a prodigués.

Nous remercions également Messieurs les Professeurs GOTTIS, Directeur du Laboratoire de Géologie Dynamique, et Monsieur CLIN, d'avoir eu l'amabilité de siéger à notre jury, ainsi que Monsieur Marc SCHOELLER.

Nous prions Monsieur le Professeur JONEIDI, Directeur du Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de l'Université de Téhéran, d'accepter toute notre reconnaissance pour le soutien qu'il nous a apporté au cours de nos travaux, ainsi que Messieurs les Professeurs GHADERI-NEJAD et KHODABANDEH, respectivement Sous-Directeur, et Professeur à la Faculté de Pharmacie de Téhéran, et aussi la Faculté de Pharmacie de l'Université de Téhéran.

Nous y remercions Monsieur le Professeur F. TAYAU, Doyen de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux, de nous avoir présenté à Monsieur le Professeur SCHOELLER.

A ces remerciements, nous associons particulièrement Madame MOUSSIE, Assistante au Centre d'Hydrogéologie, qui a bien voulu nous prodiguer ses

conseils, et Messieurs POUCHAN, CAZAL, PRATVIEL, MOUSSIE, AUBIN, VOUVE, LEGIGAN, Maitre-Assistant et Assistant, et Monsieur M. SCHOELLER attaché de Recherches au C.N.R.S., qui nous ont donné des conseils précieux.

Nos remerciements vont aussi aux Directeurs des stations, le Maire et les Directeurs des Syndicats d'Initiative des stations des eaux-minérales des Pyrénées pour les renseignements qu'ils nous ont fournis soit par lettre, soit sur le terrain.

Nous devons remercier également Monsieur DUBARRY, Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux, et aussi le Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie, Laboratoire de géologie dynamique de la Faculté des Sciences et l'Institut géographique de la Faculté des Lettres de Bordeaux pour les documents qu'ils ont mis gracieusement à notre disposition.

Nous y ajoutons le personnel technique du centre d'Hydrogéologie en particulier Mlle SIMON et Monsieur LAMOTTE pour les services qu'ils nous ont toujours agréablement rendus.

*

P L A N

Pages

AVANT PROPOS

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I - APERCU GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DE LA CHAINE DES PYRENEES

A - SITUATION GEOGRAPHIQUE 3
B - CLIMAT 4
C - HYDROGRAPHIE 5
D - VEGETATION 5

CHAPITRE II - APERCU GEOLOGIQUE DE LA CHAINE DES PYRENNEES

I - APERCU STRUCTURAL 7
II - LOCALISATION DES SOURCES THERMO-MINERALES PAR RAPPORT AUX GRANDES UNITES TECTONIQUES 9

CHAPITRE III - CLASSIFICATION GEOLOGIQUE DES EAUX THERMO-MINERALES DE LA CHAINE DES PYRENNEES.

ZONE AXIALE PRIMAIRE 15

I - SOURCES SITUEES DANS LE GRANITE 15

A/ MASSIF DE MADRES 15

1 - Molitg-les-Bains 15
2 - Nossa 19

Pages

B/ MASSIF DU CANIGOU 22

1 - La Preste 22

C/ MASSIF DU QUERIGUT 24

1 - Escouloubre 24
2 - Carcanières (Voir Escouloubre) 24

D/ MASSIF D'ASTON 31

1 - Ax-les-Thermes 31

E/ MASSIF DU CARLITE 45

1 - Les Escaldes et Dorres 45

F/ MASSIF DE GOURS-BLANCS 49

1 - Bagnères-de-Luchon 49

G/ MASSIF DE CAUTERETS 66

1 - Cauterets 66

H/ MASSIF DES EAUX-CHAUDES 77

1 - Eaux-Chaudes 77

II - SOURCES SITUEES DANS LES SCHISTES

A/VALLEE DU TECH 82

1 - Sorède 82
2 - Laroque 82
3 - Boulou 85
4 - Amélie-les-Bains 89

Pages

B/ VALLEE DE LA TET 93

1 - Vernet-les-Bains 93
2 - Canaveilles-les-Bains 93
3 - Thues-les-Bains 93
4 - Saint-Thomas-les-Bains 93

C/ VALLEE DE L'AUDE 102

1 - Usson-les-Bains .....(Voir Escouloubre) 102

D/ VALLEE DE L'ARIEGE

1 - Mérens 102

E/ VALLEE DE LA PIQUE 104

1 - Salles 104

F/ VALLEE DE NESTE D'AURE 106

1 - Cadéac 106
2 - Loudenvielles 106
3 - Tramzaygues 106

G/ VALLEE DE BASTAN 109

1 - Barèges 109
2 - Barzun 109

H/ VALLEE DE GAVE DE PAU 115

1 - Saint-Sauveur 115
2 - Labassère 118
3 - Gazost 118
4 - Beaucens 118

Pages

ZONE NORD PYRENEENNE - COUVERTURE SECONDAIRE

I - TRIASIQUE 123

1/ Siradan 123

II - JURASSIQUE 126

1/ Aulus-les-Bains 126

2/ Audinac 129

3/ Bagnères-de-Bigorre 131

III - CRETACE 137

1/ Ussat-les-Bains 137
2/ Saleich 140
3/ Ganties 143
4/ Labarthe-Rivière 145
5/ Encausse 148
6/ Barbazan 150
7/ Capvern 152
8/ Eaux-Bonnes 155
9/ Saint-Christau 160
10/ Cambo-les-Bains 163

CHAPITRE IV - ESSAI DE SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE

A - ETUDE DES FACIES HYDROCHIMIQUES 167

I - ESSAI DE CLASSIFICATION A PARTIR DES DIAGRAMMES $\frac{1}{2}$ LOGARITMIQUE

a/ Séquences ioniques 167
b/ Répartition géographique des types hydrochimiques 170

Pages

II - ESSAI DE CLASSIFICATION D'APRES LES DIAGRAMMES TRIANGULAIRES 173

1/ Anions 174
2/ Cations - Rapport Mg^{++}/Ca^{++} 176

B - REPARTITION DES TENEURS ABSOLUES DES PRINCIPAUX IONS ET LES VALEURS CARACTERISTIQUES 178

I - ANIONS 178

1/ r HCO_3^- 178
2/ r Cl^- 179
3/ r $(S^{--} + S_2O_3^{--} + SO_4^{--})$ 180
4/ r $(S^{--} + S_2O_3^{--})$ 180
5/ r SO_4^{--} 181
6/ r $(S^{--} + S_2O_3^{--})$ / r SO_4^{--} 182

II - CATIONS 182

1/ r Na^+ 182
2/ r Ca^{++} 183

III - CALCUL DES VALEURS CARACTERISTIQUES 184

1/ I.C.A. 184
2/ Produit de la solubilité des sulfates 187

IV - LES OLIGO-ELEMENTS 188

V - LA SILICE 191

C - DISTRIBUTION GEOLOGIQUE DE L'ACTIVITE MINERALE 194

I - DEFINITION DE L'ACTIVITE MINERALE 195

II - ACTIVITE BICARBONATEE 195

Pages

1/ Sources des terrains primaires 195
2/ Sources des terrains secondaires 197

III - ACTIVITE SULFUREE 198

D - DISTRIBUTION GEOLOGIQUE DE L'ACTIVITE THERMALE - FLUX DE CHALEUR 200

I - LA TEMPERATURE DES EAUX 200
II - ACTIVITE THERMIQUE - CALCUL DU FLUX DE CHALEUR 201

1/ Sources des terrains primaires 201
2/ Sources des terrains secondaires 204

E - LE THERMALISME, PHENOMENE GEOLOGIQUE 205

I - FACTEUR GEOLOGIQUE DE LA MINERALISATION 205
II - FACTEUR GEOLOGIQUE DES CONDITIONS D'EMERGENCE ET DU THERMALISME 207

CONCLUSION GENERALE 209

ANNEXES

- Graphiques semi-log des analyses des eaux 2
- Les valeurs et rapports..... 2

. Référence des analyses 7
. Code d'abréviation des stations 8
. Abréviations 9
. Table des planches (Cartes, Coupes, Graphiques)..... 10

BIBLIOGRAPHIE 15

CARTES CONSULTEES 25

* * *

INTRODUCTION GENERALE

L'étude hydrogéologique des sources thermo-minérales du versant français de la Chaîne des Pyrénées proprement dite que nous avons essayé d'entreprendre, est le sujet de ce travail.

L'utilisation thérapeutique des eaux minérales des Pyrénées à une histoire très ancienne, l'exploitation des eaux ayant été faite pour la première fois par les Romains (56 ans avant J.-C.), on peut voir les vestiges de ces exploitations dans quelques stations des Pyrénées (les Thermes des Romains, etc...)

La région des Pyrénées est parmi les plus riches au point de vue des sources thermo-minérales en France (plus de 360 sources), et les eaux caractérisées par la richesse en sulfures dans la zone axiale de la Chaîne, qu'on ne retrouve guère aussi développées en d'autre région de France.

Notre étude porte sur 45 stations et sources de la Chaîne, située la plupart dans les vallées orientées Nord-Sud (Cauterets, Luchon, Bagnères-de-Bigorre), et quelques unes dans les vallées Est-Ouest, comme Barèges, Barzun et les Eaux-Bonnes.

Pour l'exposition des caractères physico-chimiques, et hydrauliques des sources, nous les avons classées, d'après les terrains d'émergences, d'abord les eaux issues des terrains primaires (granite, gneiss, schiste), et après les eaux issues des terrains secondaires (calcaire, calcschiste.) Dans chaque classe, les sources sont arrangées selon les massifs, pour les eaux issues des massifs granitiques, ou gneissiques, et selon les vallées, pour les eaux qui émergent dans les schistes.

L'étude détaillée de chaque station comporte :

- La situation géographique (les coordonnées, l'hydrographie, le relief),
- le climat (température moyenne annuelle, pluviosité, humidité),
- la situation géologique et la lithologie des terrains d'émergence,
- les propriétés physiques (température, pH, résistivité, couleur, odeur, radio-activité),
- les propriétés chimiques (anions et cations, gaz, sulfuration pour les eaux sulfurées),
- les caractères hydrauliques (débit des sources), et enfin l'hydrogéologie et la conclusion d'ensemble de ce que nous avons pu étudier concernant le mode d'émergence et les griffons. Pour certaines sources l'emplacement des sources a été reporté sur la coupe géologique de la région. Les coupes lithologiques de captage, la forme des galeries de captage, le mode d'alimentation ont été sommairement retracés pour la plupart des stations.

Dans le dernier chapitre nous nous sommes attaché à rechercher à l'aide de ces arguments :

- une classification des eaux d'après les séquences ioniques, en vue d'obtenir une classification chimique rationnelle, tenant compte de l'ensemble des ions principaux.
- une classification d'après les diagrammes triangulaires, afin de déterminer l'évolution des caractères chimiques des eaux.
- répartition des teneurs absolues des principaux ions, et des valeurs caractéristiques.
- distribution géologique de l'activité bicarbonatée, activité sulfurée, et activité thermique.

La confrontation des classifications chimiques, en fonction des terrains d'émergence d'une part, et en fonction des caractères physico-chimiques des eaux d'autre part, amène des remarques intéressantes sur la relation des sources avec la géologie générale des différentes zones des Pyrénées.

C H A P I T R E I

APERCU GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DE LA CHAINE DES PYRENNEES

A / SITUATION GEOGRAPHIQUE

De 450 kilomètres de longueur, elle est située entre l'océan Atlantique (Golfe de Gascogne) et la Méditerranée. Elle s'amincit aux deux extrémités Est et Ouest, et forme par sa ligne de faîte, presque rectiligne, la frontière franco-espagnole. Elle atteint sa plus grande altitude vers le centre. Dans cette partie, une quinzaine de kilomètres au Sud de la plaine suffit pour atteindre les 2 100 m au Pic du Gers, les 2 500 m au Pic du Midi de Bigorre.

Dissymétrie longitudinale : de côté Est, à 48 kilomètres de la Méditerranée, la masse montagneuse s'élève brusquement à 2 785 m (Canigou), tandis que l'extrémité occidentale n'est que d'altitude moyenne, n'atteignant 2 000 m qu'à 100 kilomètres de l'Océan (Pic d'Anie).

Dissymétrie transversale : la dissymétrie est ici moins apparente, des 55 000 Km^2 qui couvrent les deux versants des Pyrénées, les deux tiers sont le versant espagnol.

Cette dissymétrie se marque dans l'orographie : cours de l'Ebre du côté espagnol, cours de l'Adour, de la Garonne, de l'Aude, de la Têt et du Tech du côté français.

B / LE CLIMAT

La latitude méridionale de la Chaîne des Pyrénées la met sous une double influence méditerranéenne à l'Est, océanique à l'Ouest et au Centre. Selon M. DAUMAS pour le climat des Pyrénées on peut dire que, du fait de leur relief, les Pyrénées constituent une zone froide entièrement comprise à l'intérieur de l'isotherme annuelle de 13 °C, et c'est à 2 000 mètres seulement qu'on trouve l'isotherme de 0 °C. A cause de sa situation géographique, elles sont plus ensoleillées et tièdes par rapport aux Alpes et le Massif Central. Elles ne sont pas atteintes par toutes les perturbations cycloniques que subit la France d'Ouest à l'Est. D'après P. PEDELABORDE, le nombre des journées chaudes, claires et sèches l'emporte de loin sur celui des jours couverts.

L'exposition joue un rôle considérable dans les Pyrénées. Dans les grandes vallées transversales la température est réglée par cette condition. La pluviosité, augmente théoriquement avec l'altitude, mais l'orographie de la région et surtout les fronts montagneux s'opposant de plein fouet au passage des perturbations, en particulier dans les Pyrénées centrales ; d'où les 1 427 mm de pluie à Bagnères-de-Bigorre (556 m d'altitude), les 1 855 mm à Oloron (221 m d'altitude).

La pluviosité diminue dans les zones abritées ; ainsi, la Cerdagne isolée par l'écran de la Sierra de Cadi, ne reçoit-elle à Montlouis, que 593 mm (1 610 m d'altitude). Et aussi les reliefs s'exercent sur certains courants atmosphériques, même aux faibles altitudes.

La neige ne joue qu'un faible rôle aux basses et aux moyennes altitudes. Le coefficient de nivosité d'après M. DAUMAS dépasse 50 % des précipitations totales au-dessus de 1 600 m, et au dessous de 1 000 m, le nombre de jours de neige s'élève à plus de 25, et après augmente jusqu'à 145 au Pic du Midi de Bigorre. Ce sont les Pyrénées des Gaves, les secteurs les plus enneigés, où, à 2 500 m, l'épaisseur moyenne de la couche de neige est de 2 à 3 mètres.

Pl. 1

SITUATION GÉOGRAPHIQUE DES PYRÉNÉES

C / HYDROGRAPHIE

Aux Pyrénées, il n'y a pas d'importantes rivières comparables aux cours d'eau des Alpes. Le débit maximum d'après les mesures n'atteint pas 100 m^3/s. Le débit du Gave de Pau à Orthez est de 80 m^3/s, Garonne à Valentine est de 65 m^3/s, l'Ariège à Foix est de 43 m^3/s, ceci à cause de la faible largeur de la Chaîne des Pyrénées, la disposition transversale des vallées et de la forte pente des cours d'eau.

Le régime glaciaire est absent. Dans les Pyrénées Centrales le régime pluvio-nival caractérisé par un double maximum au printemps (le principal), et à l'automne, et un double minimum en hiver (le principal) et en été. Sur les deux extrémités Est et Ouest des Pyrénées, on trouve les régimes pluviaux, à l'Est le type méditerranéen, à un minimum principal très sensible en été, et un minimum en hiver, à l'Ouest c'est le type océanique (la Neste avec un maximun de saison froide (hiver), et minimum en été. Les graphiques planche 2 montrent les coefficients mensuels de débit (débits moyens mensuels en % du débit moyen annuel) de quelques cours importants des Pyrénées.

D / VEGETATION

La végétation pyrénéenne est réellement sous l'influence des coordonnées de la Chaîne et en particulier l'altitude de celle-ci. Les différents étages des paysages végétaux se succèdent selon un certain ordre : les plaines se trouvent dans les basses montagnes , les étages dits montagnards subalpins , puis les étages montagnards alpins. Les limites qui séparent ces différents étages dépendent des facteurs climatiques, géographiques et de l'action de l'homme.

Dans le secteur oriental, la végétation méditérranéenne couvre les basses montagnes (jusqu'à 1 000 m), avec les forêts de chênes-verts ou de chênes-lièges ; ces forêts sont plus ou moins dégradées par l'homme. L'étage montagnard est recouvert par le chêne-rouvre, et par le pin sylvestre. A l'étage subalpin (1 700 à 1 800 m) s'installe le pin à crochet qui peut s'élever jusqu'à 2 500 m parfois avant aux pelouses alpines.

Les Pyrénées Atlantiques d'un faible relief, et par conséquent, le climat y est doux et humide. Ceci favorise l'existence de chêne pédonculé aux basses altitudes , à partir de 600 m correspond à l'étage montagnard, on trouve des hêtres ; par contre, on constate l'absence des résineux et des sapins.

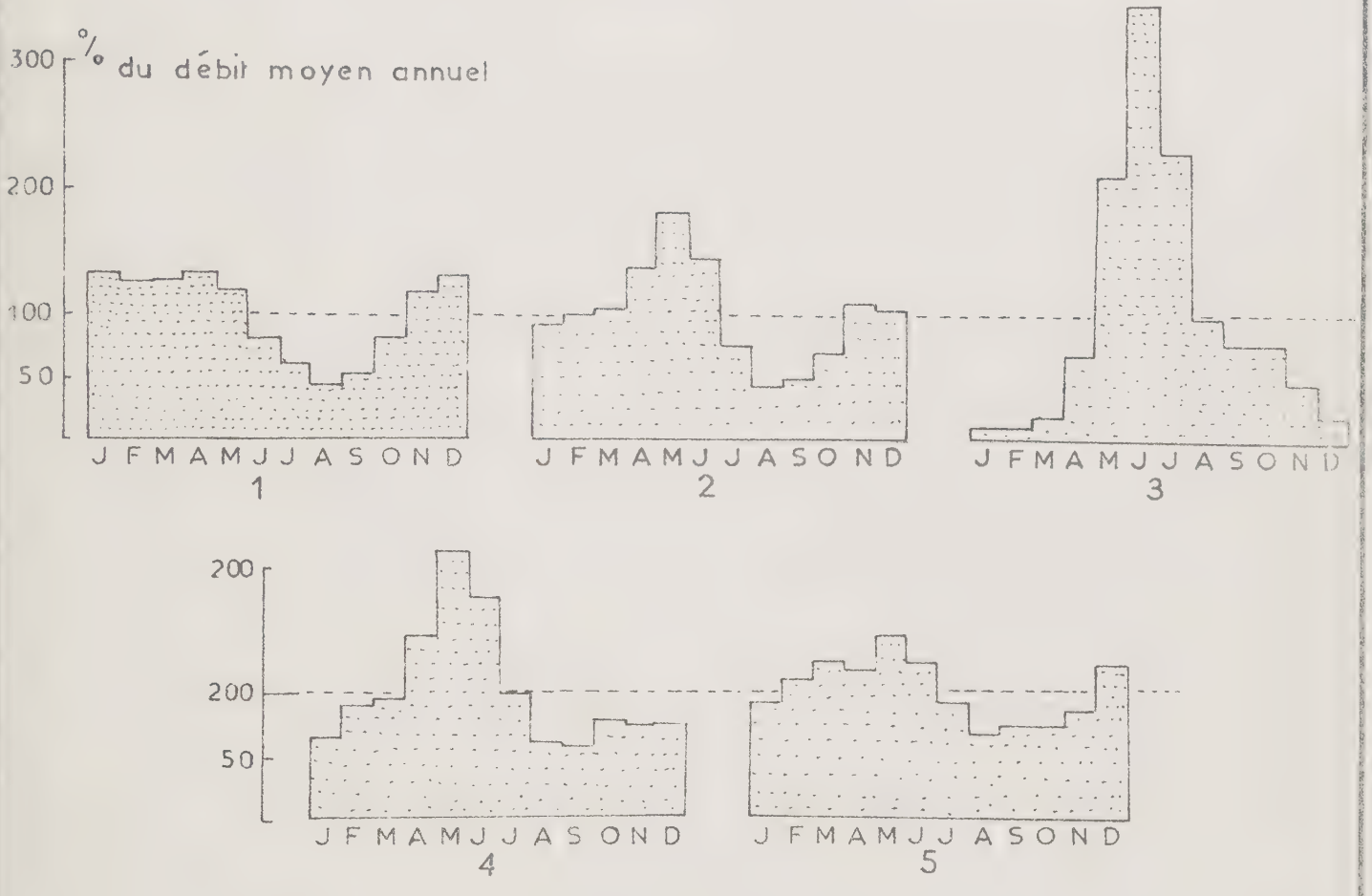
La végétation des Pyrénées centrales est beaucoup plus riche et variée. Les basses vallées correspondent au domaine du chêne-rouve et chêne verts ; l'étage montagnard est caractérisé par l'hêtre et le sapin formant des forêts Luchonais et pays du Salut. A l'étage subalpin on trouve les pins à crochet, et bien souvent les hêtres ou sapins. Ceux-ci entrent directement en contact avec les pelouses alpines ou subalpines.

*

Pl. 2

HYDROGRAPHIE

LES RÉGIMES HYDROLOGIQUES DES PYRÉNÉES



1-NIVE à St. Jean Pied de Port

2-GAVE D'OLORON à Oloron

3-NESTE de Clarabide à Loussoua

4-SALAT à Kercabanac

5-TECH à Pas du Loup

Référence: M. Daumas

CHAPITRE II

APERCU GEOLOGIQUE DE LA CHAINE DES PYRENEES

Notre but n'étant pas d'étudier la géologie de la Chaîne des Pyrénées, nous nous bornerons à en résumer les grandes lignes structurales et stratigraphiques, afin de déterminer l'incidence des facteurs géologiques sur le thermalisme. Ces considérations tout comme les hypothèses que nous formulerons, intéressent les phénomènes dans leur ensemble. Chaque station thermale est liée à des conditions géologiques très particulières, qu'il conviendrait d'étudier plus en détail.

I - APERCU STRUCTURAL

A - PYRENEES CENTRALES ET ORIENTALES

L'architecture générale des Pyrénées françaises nous fait distinguer :

1 - la zone primaire axiale,
2 - la zone Nord-pyrénéenne,
3 - la zone Sous-pyrénéenne.

Les sources thermales sur lesquelles portent notre étude, étant situées dans les deux premières zones précitées, nous laisserons de côté la zone sous-pyrénéenne.

1/ La zone primaire axiale : Elle est faite d'un matériel hercynien et forme l'ossature de la Chaîne. Elle s'allonge sur 300 kilomètres depuis la côte méditerranéenne jusqu'au Pic d'Anie, où elle s'ennoie sous la couverture mésozoïque. Les massifs granitiques et gneissiques percent sous une couverture de terrains sédimentaires paléozoïques. Les massifs granitiques sont post-tectoniques.

Les accidents majeurs qui affectent cette zone axiale, montrent une direction générale parallèle à l'allongement de la Chaîne, le pli-faille de Mérens, affecte cette zone sur toute sa longueur. A l'Ouest, comme à l'Est, cet accident dessine une sigmoïde et prend une allure en S , contournant à l'Ouest les massifs de Cauterets et de Néovielles, pour rattraper le pli couché des Eaux-Chaudes, à l'Est des massifs du Canigou et des Albères. D'autres accidents comme la faille de la Têt, et celle de la vallée du Tech (Amélie), affectent une direction Nord-Est-Sud-Ouest.

2/ La zone Nord-pyrénéenne. Située au Nord de la zone axiale, elle comporte des massifs hercyniens, et une couverture post-stephanienne. Le socle primaire de cette zone a été repris par les orogénies ultérieures, antécénomaniennes et éocènes, et les massifs qui le constituent s'alignent suivant deux rides du fond qui s'allongent : l'une, de la plaine d'effondrement du Roussillon à la Vallée de la Garonne ; l'autre, de la vallée de l'Ariège à celle de l'Adour, où le socle primaire s'ennoie définitivement sous la couverture secondaire.

La couverture secondaire comporte deux complexes stratigraphiques : la couverture antécénomanienne, qui a subi des déformations de type socle ; la couverture post-cénomanienne, reposant en discordance sur la première, ou, plus au Sud directement sur le Primaire. Un contact anormal s'aligne sur la transition entre la zone primaire axiale et la zone Nord-pyrénéenne.

B - PYRENEES OCCIDENTALES

A la limite des Pyrénées centrales et occidentales, on assiste à un déversement général vers le Sud de la zone primaire. Les massifs primaires basques font suite à un diverticule frontal de la zone primaire axiale, la masse de celle-ci s'ennoyant sous la couverture crétacée du Pic d'Anie.

ESQUISSE STRUCTURALE DES PYRENEES

Echelle : 1-500 000

- POST-ÉOCÈNE
- ÉOCÈNE
- CRÉTACE SUP. Cénomanien
- ALBIEN
- PERMO-TRIAS APTIEN
- ANDÉSITES PERMIENNES
- PALÉOZOÏQUE
- GNEISS
- GRANITE
- accident principal

D'après M. Casteras et Carte géologique de la France

MONTAGNE NOIRE

MEDITERRANÉE

Pyrenees

Petites Pyrenees

Plantaurel

Corbières

Roussillon

Arize

Mouthoumet

Milhas

Trois-Seigneurs

Saint-Barthélemy

Montcalm

Maladetta

Marimanya

Mont Louis

Agly

Aude R.

Garonne R.

Ariège R.

Têt

Tech

Fraser

Sègre

Muret

La Save

Puymaurin

Lespugne

St. Marcet

Aurignac

Bouzin

Cazères

Boussens

St. Gaudens

Castillon

Valentine

Montastruc

Saleich

Mont Sacon

Arbas

Cagire

St. Béat

Couédou

Pont du Roi

Viella

Mr Vallier

Aulus

Vicdessos

Auzat-Bassies

Rialp

Sort

Vilella

Mainmercat

Seo de Urgel

Andorra

Pamiers

St. Girons

Foix

Castillon

Massat

Col de Port

Sabart

Montségur

Camarade

Le Mas d'Azil

Fabas

Bonac

Bédeilhac

Aspet

Encausse

Gouaux

Arbouch

Engomer

Aloja

Bordes

Mirepoix

Celles

Lavelanet

Nalzen

Puivert

Limoux

Castelnaudary

Montolieu

Carcassonne

Lézignan

Moux

Monredon

Narbonne

Narbonne-Plage

Gruissan

Port-La-Nouvelle

Bize

Béziers

L'Orb

St Chinian

Durban

Jonquières

Corbières

Couiza

Quillan

Rennes-les-Bains

Pic de Bugarach

Soulatge

Mouthoumet

Fitou

Leucate

Tuchan

Vingrau

St Louis

St Paul-de-Fenouillet

Bessède

Axat

Salvezines

Montaillou

Camurac

Usson

Ax les Thermes

Escaloubre

Carcanières

Querigut

Mérens

L'Hospitalet

Carlitte

Montlouis

Escaldes

Puigcerda

Villefranche de Conflent

Prades

Jujols

Carlaveilles

Canigou 2784

Millas

Perpignan

La Tet

Rivesaltes

Le Tech

Laroque

Soreede

Boulou

Cerer

Arles

Amelie

Le Perthus

Port-Vendres

Banyuls

Albères

Roc de France

Pic Peyrenere

Pla de Mollo

Coustouges

Fraser

Sègre

Mañanet

Flamisell

Gerri de la Sal

Mont de Huert

II - LOCALISATION DES SOURCES THERMO-MINERALES PAR RAPPORT AUX GRANDES UNITES TECTONIQUES.

G. ASTRE, en 1931 distinguerait les eaux du matériel de fond, et les sources du matériel de couverture, avec les catégories de transition (eaux mixtes). Nous allons les voir successivement :

A - EAUX PROFONDES DU MATERIEL DE FOND

I / REGION ORIENTALE

1 - Série du bord septentrional de la zone axiale. Dans cette partie de la Chaîne, les terrains antéhercyniens du front de la zone axiale présentent les massifs de Campoussy, Quérigut, de l'Aston (Ax), près du contact frontal. Sur le bord septentrional des deux derniers massifs émergent les sources de Carcanières, Escouloubre, Usson (Massif de Quérigut), et les sources d'Ax (massif d'Aston).

2 - Série orientale de la lèvre Nord du pli de Mérens. Au Sud de la ligne des trois massifs précédents, la Zone axiale est affectée par un grand plissement synclinal, qui la fait dégénérer dès la vallée de la Têt en un pli-faille. Les deux émergences de Molitg et Nossa sont près de cette incidence.

3 - Série du Pli de Mérens. La Zone axiale est affectée en son milieu d'un grand accident longitudinal vaste repli synclinal, d'âge pyrénéen en plein matériel hercynien (G. ASTRE). Cet accident débute à l'Est, où se trouvent les sources d'Amélie. La direction du pli est au Nord du Canigou, et, peu après la vallée de la Têt, se transforme en pli-faille de Mérens, qui passe entre les trois massifs de Campoussy, Querigut, Aston au Nord et celle de Carlite au Sud. Les sources de Mérens émergent à l'intersection de la vallée de l'Ariège avec cet accident (pli-faille de Mérens).

4 - Série du Tech. Sur le flanc Sud du Canigou vers l'Est dans la vallée du Tech se place cette série. On peut citer les sources de la Preste au pied du Mont de Canigou, et aussi Amélie dans cette série. Dans la basse vallée

du Tech, dans la plaine d'effondrement du Roussillon, se placent trois sources des stations du Boulou, Laroque et Sorède.

5 - Série de la Têt. Les émergences de cette série sont situées dans la vallée de la Têt, entre le massif du Canigou au Sud-Est, et celui du Carlite au Nord-Ouest. Les sources de cette série sont nombreuses et jalonnées par une ligne d'effondrement ou des failles ; Vernet, Canaveilles, Thues, Saint-Thomas, sont dans cette série.

Cette branche se prolonge vers l'Ouest dans le Bassin Cerdan, et rejoint la branche de la Tech, avec les émergences des Escaldes et et Dorres.

II/ REGIONS CENTRALE ET OCCIDENTALE

Dans les Régions centrale et occidentale, la localisation des émergences n'est pas comme la région orientale, réglée en fonction de la tectonique de la périphérie des massifs, au contact des massifs primaires. Dans cette région, la distribution des sources est plutôt en relation avec la proximité des massifs ou des filons granitiques.

1 - Série des satellites Nord de la Maladetta. Au Nord du massif de la Maladetta, se place un certain nombre de petits massifs granitiques ou pegmatitiques. Bagnères-de-Luchon se situe dans la vallée de Pique dont les émergences se trouvent à proximité d'un de ces massifs.

On peut rattacher à cette série les émergences de Loudenvielle, situé à l'Ouest de Cauterets, et les sources de Tramzaygues et Cadéac (près du granite de Bordères) de la vallée d'Aure.

2 - Série de l'Adour et du Gave. Entre ces deux cours, sur le versant Nord du Pic du Midi de Bigorre, existent les sources de Beaucens, Labassère et Gazost, qui se rattachent plus ou moins au granite du pied du Pic du Midi.

3 - Série de Barèges, Cauterets. Cette série comporte les deux massifs granitiques de Néouvielle et Cauterets. L'émergence de Barèges et Barzun est dans le synclinal à noyau carbonifère qui longe le massif de Néouvielle. Dans la vallée du Gave de Pau à l'Ouest du Massif de Cauterets, se trouvent les sources de Saint-Sauveur, à une position analogue à celles de Barèges, dans une région carbonifère. Enfin, les sources de Cauterets émergent sur le versant Nord du massif granitique de Cauterets, et dans les schistes.

4 - Série du Contact des Eaux-chaudes. A l'extrême Ouest de la zone axiale, où le contact célèbre des Eaux-chaudes montre précisément la Zone axiale surmontée des calcaires crétacés, les eaux émergent dans le granit.

Les sources des Eaux-Bonnes émergent au contact Nord du lambeau du crétacé avec les terrains primaires sur le bord Sud duquel se situe les Eaux-chaudes.

B - EAUX SUPERFICIELLES DU MATERIEL DE COUVERTURE

Ce matériel comprend les terrains post-hercyniens, qui ont été plissés lors de la phase pyrénéenne, et renferme des roches sédimentaires, notamment les dépôts salifères, dont la constitution est liée à un régime de lagunes d'évaporation qui ont un maximum vers le début du mésozoïque (Trias).

Ces sources sont groupées suivant des ensembles géographiques :

Ussat, Aulus, Audinac, Labarthe-Rivière, Barbazan, Siradan, Capvern, Bagnères-de-Bigorre, dans les montagnes Nord-pyrénéennes, et Saint-Christan, Cambo, dans les Pyrénées occidentales.

*

C H A P I T R E III

CLASSIFICATION GEOLOGIQUE DES EAUX

Nous avons choisi pour la présentation des stations thermales, la classification basée sur la nature du terrain à l'émergence, ne tenant pas compte des couvertures alluvionaires.

Dans chaque classe, nous avons groupé les stations d'après les massifs cristallins pour les eaux issues du granite, et selon les vallées pour les eaux des schistes primaires. Ceci nous conduit à une classification en rapport avec la géologie, pour autant que les vallées elles-mêmes reflètent la structure profonde (exemple : faille de la Têt, faille du Tech). Quant aux eaux des terrains secondaires Nord pyrénéennes, elles sont regroupées d'après la chronologie des terrains d'émergence. Nous avons essayé de trouver la relation entre la géologie et les caractères physico-chimiques des eaux, afin de pouvoir interpréter dans le dernier chapitre, l'évolution de la composition des eaux en fonction de la géologie des différentes régions.

Renseignements pris dans la littérature, nous sommes allés sur le terrain vérifier ou compléter des données trop fragmentaires, voir même inexistantes.

Quant aux analyses des eaux, pour chaque station, dans la mesure où cela était possible nous avons effectué des mesures de t°, de pH, de résistivité sur le terrain.

Nous avons reporté en plus, des renseignements recueillis sur place, des données trouvées dans la littérature. Devant le très grand nombre d'analyses (plus de 600), nous avons été obligés de faire un choix et de n'en reporter

que quelques-unes (236 analyses) parmi les plus dignes d'intérêt scientifique. Une conversion s'imposait de mg/l de sels hypothétiques en m eq/l des ions pour certaines analyses.

La représentation choisie est les diagrammes semi logarithmiques de Monsieur le Professeur H. SCHOELLER, sur lequel nous avons porté : r Ca^{++}, r Mg^{++}, r $(Na^{+} + K^{+})$ pour les cations, r Cl^{-}, r SO_4^{--} , r HCO_3^{-} + r CO_3^{--} , r S^{--} + r $S_2O_3^{--}$ pour les anions.

La silice n'y figure pas pour la raison que les dosages portent sur la silice colloïdale à l'émergence et ne représentent donc pas la valeur réelle des ions SiO_3^{--} transportés.

ZONE AXIALE PRIMAIRE

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

I - SOURCES SITUEES DANS LE GRANITE

A - MASSIF DE MADRES

1 - MOLITG-LES BAINS (Pyrénées Orientales).

Longitude : 2° 21' 50" Est de Greenwich
Latitude : 42° 39' Nord
Altitude : 450 mètres.

a - Situation géographique

La station thermale de Molitg-les-Bains se situe à 49 kilomètres à l'Ouest de Perpignan, à 7 kilomètres de Prades, dans la gorge du torrent Castellane, qui descend vers le Sud-Est, et se jette dans la Têt.

Molitg-les-Bains est limité par le Canigou au Sud (2 785 m), le massif du Madrès (2 471) à l'Ouest, vers l'Est le pays s'ouvre à l'influence de la Méditerranée qui se trouve à une cinquantaine de kilomètres.

b - Climat

L'altitude moyenne et la situation géographique de Molitg lui confèrent un climat doux même en hiver (climat méditerranéen).

D'après O. MENGEL, les facteurs climatiques de Molitg sont les suivants :

t°.	Juin	Juillet	Août	Saison
Minimale	12,8°C	14,8	14,2	13,8
Maximale	24	26,9	26,4	25,8
Moyenne	18,4	20,8	20,3	19,8
Pluie	69 mm en 8 jours	34 mm en 5 jours	33 mm en 5 jours	136mm en 18 jours

c - Propriétés physiques des eaux de Molitg

La température des eaux s'échelonne selon les différents auteurs de 36 °C à 41 °C ;

Anglada	Carrère	Julia Fontenelle	Bouis	Dr. Montaner	Dr. Pallard
38,75°C	41,25	36,25	38	36,8	38

D'après Dr. PALLARD la température des eaux de Molitg n'est pas soumise aux influences extérieures, et c'est une des caractéristiques de ces eaux.

Le débit a été mesuré par le Dr. MONTANER à différentes périodes de l'année, en Janvier, Février, Avril et Septembre. La moyenne de ces quatre résultats est $1,32.10^{-3}$ m^3/s (114.135 litres par jour). Selon Anglada le débit est de $1,3.10^{-3}$ m^3/s. (112.500 litres par 24 heures).

La densité de l'eau mesurée comparativement à celle de l'eau distillée par le Dr. MONTANER est de 1,004 à 15 °C.

La résistivité de l'eau est de 3 900 ohms.cm à 18 °C.

La radioactivité mesurée à l'émergence est 2,39 milli-microcuries par litre (Dr. MONTANER).

Elles sont incolores, onctueuses, avec une odeur d'oeufs durs.

d - Propriétés chimiques des eaux de Molitg

Le pH de l'eau prise au robinet de l'Etablissement Thermal déterminé par la méthode colorimétrique, donne une valeur de 8.

L'extrait sec des eaux est d'environ 230 mg par litre et la silice y atteint 60 mg par litre. Les chlorures ne sont pas très élevés.

Quant au soufre, certains estiment (ANGLADA, FOURCROY et BAYEN,) qu'il se trouve sous forme stable de monosulfure de sodium, qui, au contact de l'air donne naissance de SH_2. Les autres, comme GARRIGOU, FONTAN et LONGCHAMPS, soutiennent que le soufre dans les eaux thermominérales, se trouve à l'état de sulphydrate de sulfure. D' ARSONVAL, BORDAS et TOUPLIN, ont exprimé le soufre à l'état d'ions.

Le degré sulphydrométrique des eaux de Molitg déterminé par le Dr. MONTANER est de 7,112. Les analyses de WILLM et de LAUNAY attribuent aux eaux 15,6 mg par litre de sulfure de sodium.

Les eaux de cette station sont riches en matières organiques (glairine), et par conséquent, ont une onctuosité particulière. ANGLADA les appelait : "bains de délices", qui donne la valeur thérapeutique à cette station.

ANALYSES DE MOLITY-LES-BAINS

	Lloupia (3)	Lloupia (1)	Lloupia (2)	Lloupia (6)	Mamet (3)	Mamet (1)	Barrere (3)	Barrere (2)
t. °C.	37,5		38	37,5	36,8	36,6		35
p H			8,6					
R. ohms.cm à 18°C			3793			3830		3750
R.S.à 180 mg/l	230,2		227,5	230	226	226	237,6	237,6
Q m^3/s	$1,3 . 10^{-3}$	$1,3 . 10^{-3}$	$1,3.10^{-3}$			$0,68 . 10^{-3}$		$0,25.10^{-3}$
Radio-act- mμci/l			2,39					
Gaz			N					
r Ca^{++}	0,16	0,16	0,12	0,16	0,14	0,13	0,2	0,2
r Mg^{++}	Trace	Trace	0,17	Trace	Trace	Trace	0,023	0,017
r Na^{+}	2,86	2,9	2,9	2,69	2,813	2,9	2,931	2,9
r K^{+}	0,059	0,059	0,03	0,057	0,059	0,06		
Total cations	3,079	2,95	3,22	2,907	3,012	3,09	3,15	3,11
r Cl^{-}	0,29	0,29	0,5	0,29	0,29	0,3	0,29	0,29
r SO_4^{--}	0,379	0,39		0,337	0,289	0,31	0,51	0,51
r CO_3^{--}	1,52	1,5		1,46	1,56		1,53	
r HCO_3^{-}	0,1		0,02		0,11	1,5	0,11	1,5
r S^{--}	0,4	0,4	+	0,38	0,36	+	0,35	+
r $S_2O_3^{--}$	0,12	0,12		0,11	0,073		0,041	
r SiO_3^{--}	0,37	0,39		0,33	0,44		0,43	
Total anions	3,179	3,09		2,907	3,122	2,11	3,264	2,3
Silice en r $Si O_3^{--}$	1,51			1,5	1,3	1,76	1,4	1,9
Fe mg/l	+	0,5	+		trace	+	+	
oligo-éléments	I, B, As		B	As, P B	I, Li, B	As, Li, I	Li, I, As	Li, I, B
M. O. mg/l	10,5				17,3		15,8	
NO. de l'ana-lyse	1	2	3	4	5	6	7	8

e - Hydrogéologie de Molitg-les-Bains

Les griffons des sources de Molitg se trouvent dans la vallée de Castellane en plein massif granitique. La source est issue de fissures de granite à mica noir (Biotite), feldspath blanc et quartz vitreux. Le massif granitique de Molitg se rattache au massif de Madrès à l'Ouest de Molitg. Au Sud de l'Etablissement dans la vallée de Castellane on peut voir les schistes primaires (carte géologique planche 4).

Quant à l'origine des eaux, on peut l'attribuer à l'infiltration à travers les fissures des schistes et du granite, et par les contact de ces deux formations. Les eaux se chargent ainsi de divers éléments de ces terrains et remontent par des fissures dans le granite.

Les eaux sont cataloguées comme sulfurées sodiques bicarbonatées, riches en silicium, nettement alcalines (pH = 8) à minéralisation faible. La radioactivité des eaux n'est pas très élevée (2,39 m μCi/l). La sulfuration des eaux est relativement faible par rapport aux eaux sulfurées sodiques fortes elles renferment de l'azote, des gaz rares, et surtout des sulfo-bactéries productrices de glairines.

2 - NOSSA (Pyrénées Orientales)

Longitude	:	2° 31' 30"	Est de Greenwich
Latitude	:	42° 39' 30"	Nord
Altitude	:	Env. 200	mètres

a - Situation géographique

La source de Nossa est située à 1 kilomètre de Vinça lui-même à 10 kilomètres de Prades dans la vallée du Têt.

Le massif de Campoussy constitue les hauteurs du Nord, et l'Ille-sur-Têt coule de l'Ouest à l'Est au Sud de Nossa.

b - Climat

Le climat de cette région est sous l'influence de la méditerranée, située à une quarantaine de kilomètres vers l'Est. D'après O. MENGEL les facteurs climatiques de la région sont les suivants :

Saisons	m	11	$\frac{11 + m}{2}$	Pluies
Hiver	1,6	11,3	2	167 mm en 13 jours
Printemps	6,7	17,1	6,4	173 mm en 19 jours
Eté	14,5	25,7	11,9	113 mm en 15 jours
Automne	8,4	18,8	20,1	150 mm en 14 jours
Année	7,8	18,2	13,0	603 mm en 61 jours

c - Hydrogéologie de Nossa et caractères des eaux

La source de Nossa est située sur la rive gauche d'Ille-sur-Têt, dans le versant Nord de la vallée de la Têt. Le massif de Campoussy qui donne naissance à la source de Nossa est constitué de granite à mica noir. D'après la carte géologique 1/80 000, l'aire d'émergence de Nossa se trouve presque au contact du granit avec les formations primaires dans la vallée de la Têt, remplie d'alluvions récentes (voir la carte géologique planche 4).

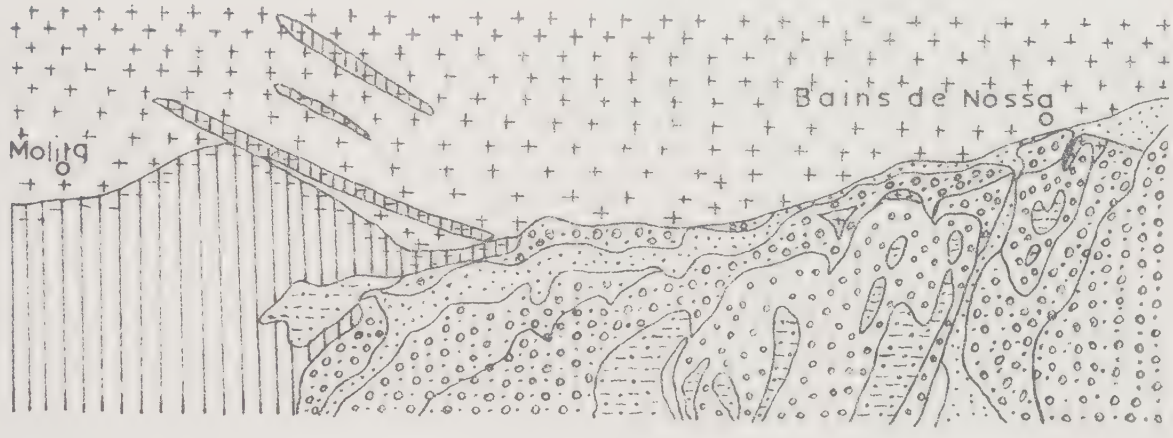
La composition chimique des eaux est proche de celle des eaux de Molitg. Elles sont cataloguées comme sulfurées sodiques, mais de sulfuration plus faible par rapport aux autres eaux sulfurées de la Chaîne des Pyrénées. La température est basse, 23 °C au griffon.

La résistivité de l'eau est de 2 300 ohms. cm à 18 °C. Le pH de l'eau prise au robinet, déterminé par la méthode colorimétrique est de 7,6. L'odeur de l'eau est très peu sensible, elle a une odeur d'oeuf couvé. L'eau n'a pas de couleur. Comme matières organiques, on peut voir des barégines dans les tuyaux et sur les parois des bassins. Quant à l'origine des eaux et des éléments de l'eau on peut leur attribuer la même origine que pour les eaux de Molitg.

CARTE GÉOLOGIQUE DE

MOLITG-LES-BAINS et NOSSA

PI. 4



Alluvions récents

Terrasses sup.

Terrasses plus élevé

Caillouts pliocènes

Silurien (Ordovicien)

Terrains primaires métamorphisés du voisinage du granite

Granite franc à mica noir

Source sulfurée

Référence: Carte géologique 1/80 000

ANALYSES DE NOSSA

	Nossa (2)	Nossa (2)	Nossa (4)
t.°C	22,4	20	23,5
p H			
R.ohms cm à 18 °C			
R.S. à 180 °C	279,8	300,1	
Q m^3/s			$0,28.10^{-3}$
Radio-acti m ci/l			
Gaz			
r Ca^{++}	0,1	0,51	0,125
r Mg^{++}	trace		0,008
r Na^{+}	3,43	3,13	3,25
r K^{+}	0,07		
Total cations	3,61	3,64	3,38
r Cl^{-}	0,44	0,48	0,57
r SO_4^{--}	0,98	1,32	0,56
r CO_3^{--}	1,73	1,68	1,58
r HCO_3^{-}	0,12		
r S^{--}	0,28		0,66
r $S_2O_3^{--}$	0,046		
r SiO_3^{--}	0,13	0,16	
Total anions	3,734		3,38
silice en r SiO_3^{--}	1,28	1,5	1,5
Fe mg/l		+	
Oligo éléments	Li B		
M. O. mg/l	8		
N° de l'analyse	1	2	3

B - MASSIF DU CANIGOU

LA PRESTE (Pyrénées Orientales).

Longitude : 2° 24' 30 Est de Greenwich
Latitude : 42° 24' 40" Nord
Altitude : 1130 mètres.

a - Situation géographique et Climat

La station thermale de la Preste est située dans la haute vallée du Tech, à 40 kilomètres de Céret. Les montagnes qui l'entourent, assez escarpées, sont recouvertes de forêts.

Le climat est pur. D'après O. MENGEL la température estivale moyenne suivant de 19 années d'observation est :

Eté : moyenne des minima 10°C ; des maxima 23,3 °C, de la saison 16,6 °C. La pluie orageuse d'été est assez fréquente.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux.

Il existe dans la région de nombreux griffons dont la température s'échelonne entre 31 °C. et 44 °C. Le débit total est de 20,8 . 10^{-3} m^3/s (1800 000 l/24 heures). Elles sont limpides avec des reflets bleuâtres. Leur saveur ressemble à celle des oeufs couvés, mais est peu prononcée. Elles sont onctueuses au toucher. Nous avons déterminé le pH, la résistivité et la température des eaux sur place. Le débit et le résidu sec des eaux a été donné par les Annales des Mines, les résultats sont les suivants :

Sources	t. °C	pH	Q l/m	R. ohms. cm à + 10 °C	R.S. à 180 °C	Captage
Apollon N° 1	42,5	8	633	6440	174,4	B.
Apollon N° 2	46	7,7	171	6300		B.

Dès l'émergence, elles laissent déposer des matières organiques (glairine), D'après O. MENGEL ces eaux sont très radioactives.

ANALYSES DE LA PRESTE

	Apollon (3)	a Apollon (1)	Apollon (Grande source) (2)	LA PRESTE (7)
t. C°		41 - 42	44	
pH				
R. ohms. cm à 18 C°		6100		
R.S. à 180° cmg/l		174,4	174	133,7
Qm^3/s	$3,6 .10^{-3}$	$10,5 . 10^{-3}$		
Radio-act m µ ci/l				
Gaz				
r Ca^{++}	0,12	0,12	0,11	0,028
r Mg^{++}	0,017	0,01	0,014	0,004
r Na^{+}	1,7	1,76	1,71	1,39
r K^{+}	0,053	0,056	0,056	
Total cations	1,893	1,946	1,89	1,422
r Cl^{-}	0,53	0,05	0,052	0,02
r SO_4^{--}	0,44	0,44	0,043	0,3
r CO_3^{--}	1,15		1,144	0,77
r HCO_3^{-}		1,14		
r S^{--}	0,26	+	0,25	0,33
r $S_2O_3^{--}$	0,01		0,01	
r SIO_3^{--}	0,029			
Total anions	2,379		2,72	
silice en r SiO_3^{--}		1,33		1,4
Fe mg/l			+	
Oligo-éléments			B ,P, As	
M.O. mg/l				
N°. de l'analyse	1	2	3	4

c - Hydrogéologie de LA PRESTE

Les griffons de La Preste sont situés au Sud du Massif du Canigou dans le granite du Mont de Castabonne. L'eau est issue des fissures du granite à quelque dizaine de mètres au-dessus du niveau de la Têt, où elle prend sa naissance dans une vallée relativement étroite (voir la carte géologique des sources autour du massif du Canigou planche 26).

La minéralisation totale des eaux est très faible (170 mg/l résidu sec). Le taux de Cl^- et Mg^{++} est très bas, celui des CO_3^{--} et HCO_3^- est plus élevé par rapport aux autres anions. La silice y est abondante.

Les aux sont classéss comme sulfurées sodiques, bicarbonatées sodiques, alcalines et hyperthermales. Suivant la composition chimique, les caractères physico-chimiques des eaux et la géologie de la région, on leur a attribué une origine profonde.

C - MASSIF DE QUERIGUT

ESCOULOUBRE, CARCANIERES, USSON.

a - Situation géographique

Les deux sources d'Usson et Carcanières sont situées sur la rive gauche de l'Aude dans le département de l'Ariège, mais les griffons d'Escouloubre se trouvent sur la rive droite de l'Aude dans le département de même nom. Les deux sources de Carcanières et Escouloubre ne sont séparées que par la largeur de la rivière de l'Aude.

Ces sources, naissent sur un parcours de 4 kilomètres, Sud-Est à Nord-Ouest dans le massif du Quérigut.

Coordonnées	Usson	Escouloubre	Carcanières
Longitude Est de Greenwich	2° 5'	2° 8' 20"	2° 7' 30"
Latitude Nord	42° 44' 40	42° 43' 20"	42° 43'
Altitude mètres	776	910	910

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La thermalité des sources a été déterminée par différents auteurs :

Stations	Sources	t °C	Auteurs	t °C	Auteurs
Usson					
	Rosine	19,8	Willm		
	Condamy	23,3	Willm		
	Soumain	26,5	Willm		
Carcanières					
	Régine	59,9	Caujole	58,7	Lasserre
	Mis	55	Willm		
	Baraquette neuve	54,2	Willm		
	Bain fort	49,7	Willm	49,7	Lasserre
	Baraquette vielle	45,3	Willm		
	Siméon	39,3	Willm	39,3	Lasserre
	Vierge ou Marie	36	Willm	38	Caujolle
Escouloubre					
	Poulpry	49	Willm	48	Caujolle
	Loetitia	42,1	Willm	44	Caujolle
	Courent	40,4	Willm		
	Marie	38,1	Willm	42	Caujolle
	Bonnail	21,2	Willm		

On peut donc dire que la température est maxima à Carcanières et minima à Usson. Les eaux sont sans couleur. D'après Dr. DEGUIRAL les eaux d'Usson sont radioactives. La résistivité des eaux s'échelonne entre 4 700 ohms.cm (Escouloubre), 5 400 (Carcanières), et 5 700 (Usson). Le résidu sec est très faible. Le débit des sources de carcanières est environ de $1,5 \cdot 10^{-3} m^3/s$.

Le pH des sources de Carcanières, atteint 9,3 ; à Escouloubre 9,3 (Dr. CAUJOLLE). Le pH de la buvette d'Usson sur le bord de l'Aude est de 7,4, par la méthode colorimétrique.

La minéralisation des eaux comme toutes les eaux sulfurées sodiques des Pyrénées est faible. L'étude de la minéralisation des sources du massif du Quérigut n'a pas montré la dégénérescence des eaux. Les matières organiques sont visibles surtout dans les eaux d'Usson (buvette).

ANALYSES DES EAUX D'ESCOULOUBRE

	Courrent (8)	Courrent (2)	Poulpry (8)	Poulpry (2)	Bonnail (2)	Marie (2)	Laelitia (2)
t. °C	40	40,4	49	49	21,2	38,1	42,1
pH							
R. ohms.cm à 18 °C	4877		4728				
R.S. à 180 °C	218,8	218,8	222,2	222,2	218,6	223,4	220
Q m^3/s	$0,58.10^{-3}$		$0,4.10^{-3}$				
Radio-act m µci/l							
Gaz							
r Ca^{++}	0,11	0,11	0,11	0,11	0,076	0,104	0,11
r Mg^{++}	0,016	0,014			trace	trace	trace
r Na^{++}	2,24	2,24	2,3	2,356	2,26	2,38	2,27
r K^{+}	0,064	0,06			0,06		
TTotal cations	2,43	2,424	2,41	2,466	2,401	2,484	2,38
r Cl^{-}	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,18	0,16
r SO_4^{--}	0,33	0,32	0,35	0,36	0,36	0,31	0,31
r CO_3^{--}		1,194		1,19	1,356		0,97
r HCO_3^{-}	1,21	0,86	1,2	0,86	0,98	0,93	0,7
r S^{--}	+	0,32	+	0,33	0,29	1,294	0,36
r $S_2O_3^{--}$		0,05		0,046	0,028	0,06	0,06
r SiO_S^{--}		0,36		0,37	0,21	0,29	0,52
Total anions	1,63	3,284	1,72	3,326	3,384	3,414	3,08
silice en r SiO_3^{--}	2,71	2,3	2,7	2,5	2,45	2,31	2,24
Fe mg/l	+	Trace	+	Trace	Trace	Trace	Trace
Oligo-éléments	Li,As,B	I,Li,As	Li,As,I	I,Li,As.	I,Li,As	I,Li,As	I,Li,As
M.O mg/l		10,3		13	9,1	14,7	
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7

ANALYSE DES EAUX DE CARCANIERES

	Bain fort (2)	Bara-quette (2)	Bara-quette (8)	Bain doux (2)	La Vierge (8)	La Vierge (8)	Siméon (2)	La Régine (2)
t. °C	49,7	54,2	38	45,3	35,6	36	39,3	59
pH								
R. ohms.cm à 18 °C			4850	5460				
R.S. à 180 °C.	234,4	242,4	242,4	218,6	227,4	227,4	239	231,2
Q m^3/s					$0,03.10^{-3}$			
Radio-act. m μ ci/l								
Gaz								
r Ca^{++}	0,092	0,18	0,18	0,1	0,1	0,106	0,21	0,1
r Mg^{++}	0,016	0,05	0,05	0,01	Trace	Trace	0,061	0,016
r Na^{+}	2,94	2,26	2,3	2,36	2,3	2,19	3,01	2,91
r K^{+}	0,1	0,1	0,11		0,1	0,1	0,08	0,1
Total cations	3,148	2,59	2,64	2,47	2,5	2,396	3,361	3,126
r Cl^{-}	0,18	0,2	0,2	0,18	0,17	0,17	0,2	0,21
r SO_4^{--}	0,32	0,3	0,32	0,32	0,33	0,33	0,37	0,3
r CO_3^{--}	1,318	1,28		1,32		1,186	1,311	1,226
r HCO_3^{-}	0,95	0,92	1,28	0,95	1,2	0,9	0,95	0,88
r S^{--}	0,35	0,66	+	0,28	+	0,2	0,31	0,38
r $S_2O_3^{--}$	0,73	0,06		0,08		0,09	0,8	0,73
r SiO_3^{--}	0,25	0,06		0,29		0,42	0,37	0,28
Total anions	4,098	3,51	1,8	3,42	1,7	3,296	4,311	4,008
silice en r SiO_3	2,88	2,96	3	2,45	2,8	2,3	2,7	2,7
Fe mg/l	Trace		+		+		+	Trace
Oligo-éléments	I,Li,As	I,Li,As	Li,As,B	I,Li,As	B,I	I,Li,As	I,Li,As	Li,I,As
M.O. mg/l	7,2	12,5		5,5		15,4	7,1	11,4
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7	8

ANALYSES DE USSON-LES-BAINS

	Condamy Usson (2)	Soumain Usson (2)	Plaies Usson (8)	St-Geneviève Usson (8)
t. °C	23,3	26,5	21	26,2
pH			5350	5750
R. ohms. cm à 18 °C				
R.S. à 180 °C	183,4	218,2	183,4	218
Q m^3/s			$0,33.10^{-3}$	$0,16 . 10^{-3}$
Radio-act m µ ci/l				
Gaz				
r Ca^{++}	0,18	0,3	0,18	0,3
r Mg^{++}	traces	0,045	trace	0,04
r Na^{+}	1,87	1,93	1,9	2
r K^{+}	0,1	0,06	0,1	0,06
Total Cations	2,15	2,335	2,18	2,4
r Cl^{-}	0,15	0,17	0,15	0,17
r SO_4^{--}	0,23	0,39	0,24	0,61
r CO_3^{--}	0,87	0,84		
r HCO_3^{-}	0,62	0,61	0,87	0,85
r S^{--}	0,33	0,35	+	+
r $S_2O_3^{--}$	0,11	0,1		
r SiO_3^{--}	0,46	0,48		
Total anions	2,779	2,945		
Silice en r SiO_3	1,7.	2,2	2,16	2,69
Fe mg/l	+	+	+	+
Oligo-Eléments	I,Li,As.	I,Li,As.	Li,As,P.	Li,As,P.
M.O mg/l	8,8	17		
N° de l'analyse	1	2	3	4

c - Hydrogéologie de USSON, ESCOULOUBRE, CARCANIERES.

Les sources de ces trois stations thermales sont issues du granite, sur le bord septentrional du massif du Quérigut, dans la vallée de l'Aude.

La différence de température entre les griffons peut être expliquée par les différents parcours des eaux dans le granite et dans les formations schisto-calcaires (Usson-les-Bains). Les eaux issues du granite sont les plus chaudes et les plus constantes en composition chimique.

La composition chimique des eaux est très semblable pour les trois stations. On peut donc penser à une origine unique. La fluctuation des sulfates des eaux d'Usson étant un phénomène liée à leur émergence dans les schistes et les calcaires.

Les eaux sont classées comme sulfurées sodiques bicarbonatées. La silice est très abondante (2,5 méq/l). L'origine de la silice et du soufre est la même que pour les eaux sulfurées sodiques des Pyrénées.

Quant à savoir s'il s'agit d'eau vadose ou juvénile, d'après leur caractères physico-chimiques et la géologie de la région, on ne peut leur attribuer qu'une origine profonde, avec des cheminements différents près de la surface de la terre, de telle manière que les griffons de Carcanières et Escouloubre sont situés dans le granite, tandis que les sources d'Usson à 4 kilomètres vers le Nord sont situés dans les calcaires et schistes Dévoniens (Voir la carte géologique planche 5).

Sources autour des Massifs de L'ASTON et QUERIGUT

Pl. 5

Granit

Gneiss

Micaschistes

S Silurien

Devonien

Carbonifere

Permien et Trias

J Lias et Jurassique

Urgo-aptien

Albien

Cénomanien

Alluvions

Contacts anormaux
Limite septentrionale de la zone primaire axiale

O Aires Hydro-thermales

Référence: p. Urbain

D - MASSIF D'ASTON

AX-LES-THERMES (Ariège)

Longitude : 1° 50' Est de Greenwich
Latitude : 42° 43' Nord
Altitude : 720 mètres.

a - Situation géographique

Ax-les-Thermes est situé dans une vallée entourée de tous côtés par des sommets dont l'altitude varie entre 1 800 m et 2 300 mètres, où confluent de trois rivières.

L'Ariège formée par la réunion de trois rivières : l'Ariège, l'Oriege et la Lauze, traverse le département auquel elle onne son nom. Ces trois cours d'eau drainent un bassin versant d'environ 300 kilomètres carrés, compté en amont d'Ax-les-Thermes, ce bassin a un axe vers le Nord-Nord-Ouest.

L'Ariège prend sa naissance en Andorre, l'Oriège à l'étang de Fauzy et la Lauze du Port de Paillère.

b - Le climat

1) Température de l'air

Le Docteur BOYER donne les températures suivantes pour les années 1930-1931 :

	1930	1931
Juin	18°	19°
Juillet	17° 75	18° 78
Août	19° 01	17° 84
Septembre	18° 01	14° 28

Le Docteur GIRARD donne comme moyenne estivale :

Jour 25° Nuit 16°.

2) Pluie

D'après les travaux de SARRAT, la pluviosité moyenne est :

en Juin	117 m/m	en Septembre	78 m/m
en Juillet	67 m/m	en Août	74 m/m.

Ax est la plus orientale des stations du versant océanien adossée aux hauteurs formant la ligne de partage des eaux entre Océan et Méditerranée. De ce point de vue elle a des avantages du climat méditerranéen. Le vent et le brouillard y sont très rares, l'air pur, l'atmosphère d'une luminosité remarquable et les nuits y sont très fraîches, les orages venant de l'Est (col de Paillères) ou Sud-Est (Porteille d'Orlu) éclatent assez souvent sur Ax, qui rafraîchit l'air. Enfin, il faut ajouter que l'air y est relativement sec en été.

c - Situation géologique d'Ax-les-Thermes

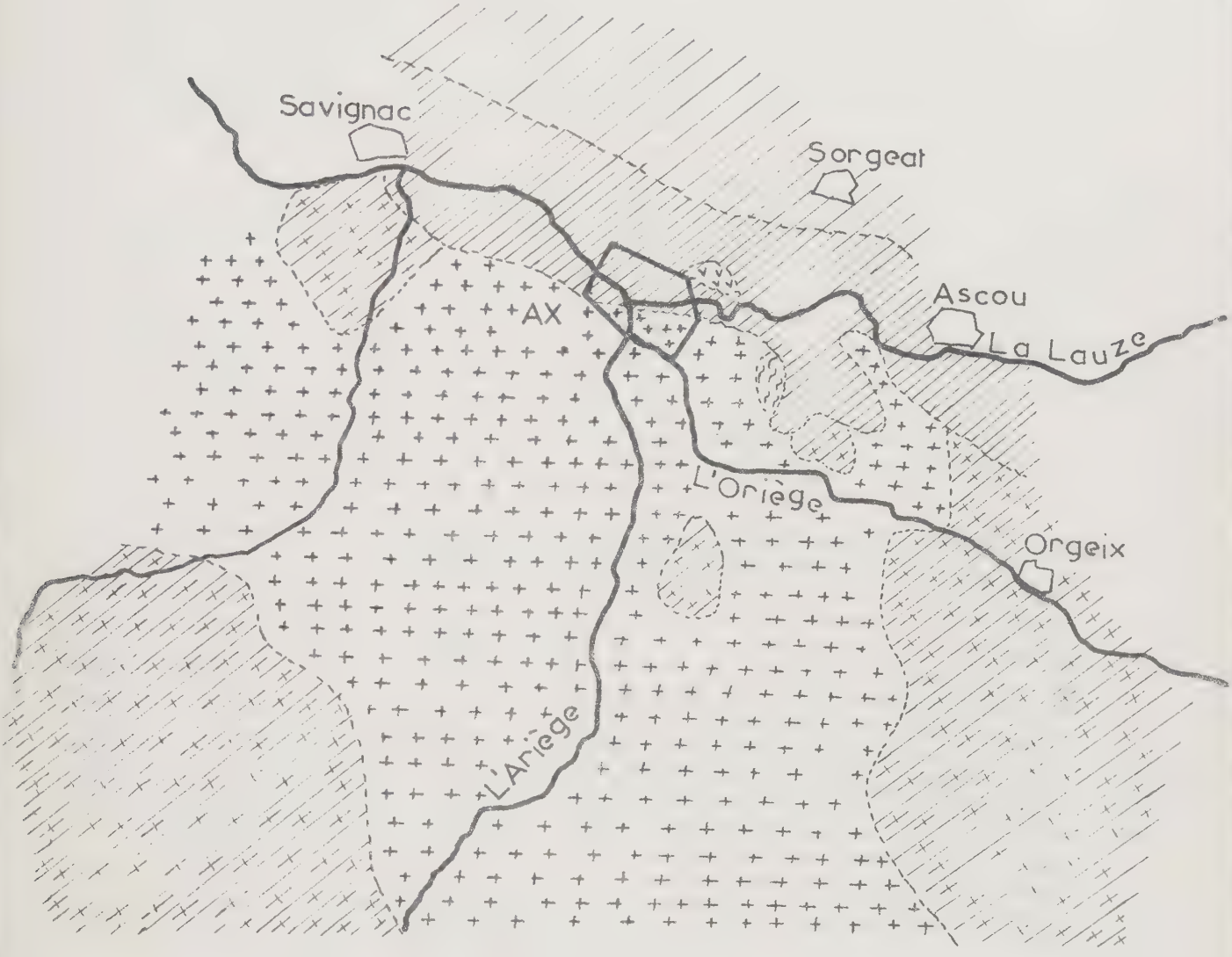
L'agglomération d'Ax-les-Thermes se trouve à la limite du massif gneissique d'Aston (Bull. B.R.G.M. 1-1962) au Sud-Ouest et de son enveloppe de micaschistes au Nord-Est ; cette limite est suivie par le cours de l'Ariège en aval d'Ax. Le massif granitique d'Ax-les-Thermes à surface d'environ 5 à 6 kilomètres carrés, mis en place par consolidation d'un magma intrusif d'origine profonde recoupe les directions des gneiss et des micaschistes (planche 5). D'après M. BRAZNIKOV, ce massif granitique est compris entre le cours de l'Ariège à l'Est, et celui du Nagear à l'Ouest, la composition chimique du granite d'Ax change d'un point à un autre ; il est moins alcalin que les gneiss granitoïdes du massif de l'Aston, la teneur des feldspaths calco-sodiques (oligoclase) est relativement important due à l'endomorphisme (urbain).

La plupart des griffons sont couverts par une formation alluvionnaire, alluvions glaciaires colmatées en un béton naturel par les sources thermales à laquelle on donne le nom de TAPP.

Carte Géologique des environs de

AX-LES-THERMES

Pl. 6



Granit roux

Granit gris

Pegmatites

Lamprophyres

Gneiss

Micaschistes

Silurien

ECHELLE

0 1000 2000 m

d'après P. Urbain

Le TAPP est une roche constituée des éléments qu'on trouve en amont d'Ax (gneiss, granite, roches siliceuses, du paléozoïque et du ciment). Dans le puits de captage, on trouve des blocs arrondis jusqu'à 1 mètre de diamètre (Destombes), à côté de blocs de taille cent fois plus petite. Le ciment de TAPP en lames minces a été étudiées par Mme A. VAYSSE (1955).

Il a une couleur gris-clair ; C'est un sable complexe avec une granulométrie plus régulière à dimensions de l'ordre 50 à 500 f avec les paillettes de muscovite. A la loupe binoculaire, on peut voir le remplacement des cristaux de feldspaths des roches granitiques par de la silice néogène. Au microscope, ce minéral opalescent et chargé des pigments sombres apparaît à l'interieur des Constituants du galet de cette silice qui donne la rigidité au conglomérat, doit être recherchée dans les eaux thermales d'Ax.

d - Propriétés physiques des eaux d'Ax-les-Thermes

1) Température

La plupart des eaux d'Ax-les-Thermes sont hyperthermales : comme à Rossignol supérieur 76°,8C., à Viguerie 72°,2 C., à Canons 74°,6C. A côté de ces eaux hyperthermales, il n'y a que quelques sources hypothermales telle que, la source Longchamp (n° 2) 25°, C. comme la (Source du Pavillon bleu 22° C.)

2 - Couleur

En général les eaux d'Ax-les-Thermes sont incolores à l'exception de quelques sources qui paraissent bleues à cause de la présence du soufre en faible quantité. D'autre part, on observe surtout dans les eaux des bassins un phénomène de blanchissement qui est peut être la conséquence de la transformation des monosulfures en polysulfures avec précipitation du soufre.

3 - Odeur et Saveur

Elles ont une odeur d'oeuf couvé et une saveur hépatique, rappelant celle des oeufs durs.

4) Radio-activité

Les eaux d'Ax-les-Thermes sont fortement radio-actives (voir tableau page suivante).

Le tableau suivant résume les analyses faites sur place (1933) par le laboratoire de Chimie analytique de l'Institut d'Hydrologie, et Laboratoire de Chimie-Physique Hydrologie du Collège de France.

e - Propriétés chimiques des eaux d'Ax-les-Thermes

1) pH

Les eaux d'Ax-les-Thermes sont alcalines (pH vers 9) en raison des sulfures, sulphydrates, silicates et carbonates alcalins, éléments essentiels de la minéralisation de ces eaux.

2) Sulfuration

Certaines sources comme celle de Viguerie offrent une grande fixité de sulfuration en raison d'une grande quantité d'azote en dissolution (le Docteur BOYER).

La plupart des eaux subissent de multiples transformations à cause de la perte de pression au cours de leur ascension ; les mono-sulfures se transforment en sulphydrates, hyposulfites (Grande sulfureuse). A l'air libre les transformations se poursuivent suivant que ces eaux renferment ou non de l'acide carbonique. Une partie de l'acide sulphydrique produit par ces transformations se dégage dans l'atmosphère, et en même temps, peut être décomposé en donnant du soufre, qui se dépose sur les parois des bassins et des conduites, l'autre partie restant en suspension. Il se produit des phénomènes de coloration blanchissement (source Fontan), et bleuissement (source Mystère et Eaux Bleues).

MESURES DES EAUX D'AX-LES-THERMES SUR PLACE

Etablissement	Sources	t. °C	Gaz l/m	Q l/m	R. à 18 °C ohms. cm	pH	Radon milimicrocu--ries/l
Le Teich							
	Viguerie	72,2	0,3	130	4440	9	1,23
	Puits d'Orlu	59,7	95	95			1,37
	Pyramide	63,7		48			1,71
	Quod			15			
	St-Roch (droite)			0,75			
	St-Roch (gauche)			0,70			
	Eaux-bleues			3			
	Patissier			0,5			
Modèle							
	Grande sulfureuse	69,2	0,0013	120	4313	9	3,39
	Alcaline	63,4		63			0,10
	Abeilles	49,6		8,5			2,31
Le Couloubret							
	Pilhes	44,7	0,010	40	4731	8,7	0,912
	Majeure	48,9		42			1,15
	Mystère	51		19			1,16
	Gourgouette			2,5			
	Gaston Phoebus	43,5		8			0,96
	Basse (griffon 1)			25			
	Basse (griffon 2)			20			
	Sulfuro-ferrugineuse			1			
Breilh							
	Douche des Hommes	53,7	0,11				0,96
	Rossignol Supérieur	76,8	0,14	105	4330	9	2,04
	Etuve de l'Hôpital	69,1		60			2,54
	Bain fort	43,4		35			0,654
	Canons	74,8					

Le Docteur CAUJOLLE a observé les variations de l'alcalinité des eaux par le vieillissement traduisant l'oxydation du sulphydrate.

On distingue plusieurs variétés d'eaux sulfurées d'après les transformations multiples que subit l'eau ; Eaux sulfurées fixes, sulfurées dégénérées, sulphydratées avec ou sans acide carbonique, sulfitées, hyposulfitées alcalines, sulfatées, limpides ou avec soufre en suspension.

4) Métalloïdes

Certains métalloïdes comme le Soufre, le Brome, l'Iode, des traces de Fluor et de Bore sont présents dans les eaux d'Ax-les-Thermes.

5) Métaux

Dans les eaux d'Ax, le Docteur E. BOYER a trouvé sous la direction du Professeur GARRIGOU les métaux suivants : Zinc, Cuivre, Etain, Arsenic, Cobalt et Manganèse.

L'analyse spectroscopique a mis en évidence la présence d'Antimoine, Argent, Barzum, Chrome, Cuivre, Etain, Gallium, Germanium, Glucinium, Molybdène, Nickel, plomb, Strontium, Titane, Tungstène et vanadium.

b - Gaz

Les eaux d'Ax-les-Thermes contiennent des gaz : tel que l'hydrogène sulfuré, qui se dégage autour des sources, l'azote qui est très abondant, la source viguerie donne l'impression d'une eau bouillante dans son griffon (H. LAMARQUE); il y a des gaz rares ; Heluim, Argon etc... Sur le tableau suivant nous avons montré la composition centesimale moyenne des gaz bruts de quelques sources d'Ax-les-Thermes d'après les analyses de MM. A. LEPAPE et M. GESLIN.

7 - Matières organiques

Ces sources contiennent des sulfuraires en suspension (on peut voir des dépôts sur les conduites) mais il n'y a pas de microbes pathogènes (E. BOYER).

COMPOSITION DES GAZ SPONTANES DES SOURCES D'AX-LES-THERMES

Sources	COMPOSITION CENTESIMALE MOYENNE, EN VOLUMES, DU GAZ BRUT SEC							
							Radon par litre	
	CO2	O2	Gaz combus-tibles	N2	Argon + traces de krypton et Xénon	Hélium + Néon	en 10^{-9} curies	en 10^{-12} cm^3
Viguerie 1905-1906	0	0	0	98,45	1,453	0,097	14,76	8,9
- 1927	0	0,03	1,34	97,07	1,478	0,087		
- 1933	1,67	0	traces	96,68	1,563	0,092	21,2	12;7
Rossignol sup. 1927	0	0,03	1,02	97,24	1,622	0,091		
1933	1,06			97,27	1,581	0,093	55,3	33,2
G. de sulfureu. 1933	0,60	0,64	1,56	95,44	1,661	0,099	40,9	24,5
Font. des ca-nons 1933	0,44	0	1,30	96,62	1,534	0,096	21,2	12,7

ANALYSES D'AX-LES-THERMES

	Fontan (2)	Petite sulfureuse (2)	Grande sulfureuse (2)	Grande sulfureuse (8)	Longchamps (2)
t. °C	54,5	32,6	69,5	69,2	61,3
pH					
R. ohms. cm à 18 °C			4760		4510
R.S. à 180 °C. mg/l	227,5	235,8	231,2	233,7	245,2
Q m^3/s				$2.\ 10^{-3}$	
Radio-act m μ ci/l				3,39	
Gaz	-	CO_2	CO_2	CO_2, N	CO_2
r Ca^{++}	0,14	0,104	0,23	0,19	0,33
r Mg^{++}	trace	traces	trace	0,008	trace
r Na^{+}	2,1	2,01	2,06	2,1	2,01
r K^{+}		0,09	0,13	0,1	0,1
Total cations	2,24	2,2	2,42	2,39	2,11
r Cl^{-}	0,38	0,42	0,34	0,38	0,48
r SO_4^{--}	0,4	0,3	0,65	0,125	0,56
r CO_3^{---}	0,98	0,834	0,64		0,79
r HCO_3^{-}	0,7	0,6	0,46		0,54
r S^{--}	0,41	0,58	0,66		0,51
r $S_2O_3^{--}$	0,07	0,07	0,13		0,1
Total anions	2,94	2,804	2,83	0,505	2,98
Silice en r SiO_3^{--}	3,1	3,15	2,75	3	3,08
Fe	trace	trace	trace	+	trace
Oligo-éléments	I, Li	I, Li	I, Li	Al, Mn	I, Li
M.O. mg/l	9,5	19,7	8,2		12,8
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

ANALYSES D'AX-LES-THERMES

	Longchamps (8)	Abeilles (2)	Abeilles (1)	Alcaline (2)	Viguerie (2)
t. °C.	51,8	36	51,6	56	73,8
pH					
R. ohms. cm à 18 °C.	4510		4620		
R. S. à 180 °C mg/l	245,2	232,7	232,7	217,6	226,8
Q m^3/s	$0,1 . 10^{-3}$		$0,11 . 10^{-3}$		
Radio-act m µ ci/l				2,31	
Gaz		CO_2		CO_2	
r Ca^{++}	0,33	0,27	0,27	0,21	0,14
r Mg^{++}	trace	0,026	0,025	0,028	0,03
r Na^{+}	2,03	1,85	1,94	1,89	2,05
r K^{+}	0,1	0,12	0,12	0,1	0,12
Total cations	2,46	2,26	2,06	2,22	2,34
r Cl^{-}	0,47	0,3	0,38	0,38	0,37
r SO_4^{--}	0,46	0,64	0,52	0,52	0,47
r CO_3^{--}		0,746		0,918	0,84
r HCO_3^{-}	0,8	0,55	0,73	0,66	0,6
r S^{--}	+	0,5		0,29	0,57
r $S_2O_3^{--}$		0,08		0,12	0,09
r $Si\ O_3^{--}$					
Total anions	1,73	2,816	1,63	2,888	2,94
silice en r SiO_3^{--}	3,08	2,9	2,9	2,74	3,1
Fe				+	+
Oligo-éléments	I, Li B,	I, Li	I, Li, B,	I, Li	I, Li
M.O. mg/l		9,8		3,4	1,7
N° de l'analyse	6	7	8	9	10

ANALYSES D'AX-LES-THERMES

	Viguerie (1)	Bain fort (1)	Bain fort (2)	Rossignol supérieur (2)	Rossignol supérieur (3)
t. °C	71	46,2	45,6	77,6	
pH					
R. ohms. cm à 18 °C	4500	4805			
R.S. à 180 °C. mg/l	229	242,8	242,8	232,6	
Q. m^3/s	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$			
Radio. act. m µci/l	1,23				
Gaz	CO_2, N, Ra			CO_2	
r Ca^{++}	0,2	0,27	0,27	1,38	0,14
r Mg^{++}	0,008	trace	trace	0,014	0,017
r Na^{+}	2,07	2,09	2,07	2,09	2,1
r K^{+}	0,11	0,13	0,13	0,11	0,11
Total cations	2,38	2,49	2,47	3,59	2,36
r Cl^{-}	0,41	0,36	0,36	0,35	0,35
r SO_4^{--}	0,11	0,62	0,62	0,49	0,5
r CO_3^{--}			0,94	2,09	0,93
r HCO_3^{-}		0,93	0,68	0,61	
r S^{--}		+	0,45	0,54	0,55
r $S_2O_3^{--}$			0,1	0,12	0,12
r $S_iO_3^{--}$					
Total anions	0,52	1,91	3,15	4,2	2,45
silice en r SiO_3^{--}	2,9	2,86	2,86	3,13	
Fe	+	+	trace	+	+
Oligo-élément	Al, Mn	I, Li, B,	I, Li	I, Li	
M.O. mg/l			14	4,3	
N° de l'analyse	11	12	13	14	15

ANALYSES D'AX-LES-THERMES

	Rossignol supérieur (4)	Rossignol supérieur (1)	Rossignol supérieur (5)	Joly (2)	Joly (1)
t. °C	77,6	77,8	76,8	69,6	60
pH			9		
R. ohms. cm à 18 °C.		4330	4330		4760
R.S. à 180 °C mg/l	230	234	234	226,6	226,6
Q $m^3/s.$		$1,7 . 10^{-3}$			$0,11 . 10^{-3}$
Radio-act. m μ ci/l		2,04	+		
Gaz	CO_2	CO_2, N	CO_2	CO_2	
r Ca^{++}	0,14	0,14	0,14	0,17	0,17
r Mg^{++}	0,014	0,008	0,006	0,014	0,008
r Na^{+}	2,14	2,12	2,12	1,96	2
r K^{+}	0,1	0,11	0,11	0,1	0,1
Total cations	2,39	2,37	2,37	2,24	2,27
r Cl^{-}	0,34	0,39	0,39	0,3	0,32
r SO_4^{--}	0,52	0,19	0,19	0,48	0,47
r CO_3^{--}	0,91			0,78	
r HCO_3^{-}				0,57	0,79
r S^{--}	0, 51		0,44	0,59	
r $S_2O_3^{--}$	0,11		0,053	0,09	
r SiO_3^{--}			1,16		
Total anions	2,39	0,58	2,14	2,83	1,58
silice en r SiO_3^{--}	3	3,04	1,87	3,1	3,1
Fe		+	+	+	+
Oligo-éléments	B . As	Al, Mn	Br, F, Al Mn, As	I, Li 5,5	I, Li, B, As
M.O mg/l					
N° de l'analyse	16	17	18	19	20

ANALYSES D'AX-LES-THERMES

	Pilhes (2)	Pilhes (9)	Pilhes (1)	Eaux bleues (2)	Filhol (2)
t. °C.	31,5	44,7	41,8	45,5	66,9
pH		8,7			
R.ohms. cm à 18 °C.		4731	5045		
R.S. à 180 °C. mg/l	224,2	233	233	240,5	256,2
Q $m^3/s.$			43		
Radio-act m μ ci/l		+	0,912		
Gaz	CO_2	CO_2	CO_2, N	-	CO_2
r Ca^{++}	0,23	0,33	0,33	0,41	0,21
r Mg^{++}	trace	0,033	0,03	0,07	0,03
r Na^{+}	1,83	1,85	1,84	1,92	2,11
r K^{+}	0,1	0,125	0,12	0,11	0,1
Total cations	1,93	1,97	1,96	2,03	2,21
r Cl^{-}	0,3	0,31	0,35	0,4	0,4
r SO_4^{--}	0,65	0,019	0,018	0,77	0,48
r CO_3^{--}	1,12			1,05	0,86
r HCO_3^{-}	0,81			0,77	0,62
r S^{--}	0,06	0,1	+	0,09	0,56
r $S_2O_3^{--}$	0,032	0,26		0,12	0,15
r SiO_3^{--}		1,44		0,08	
Total anions	2,97	2,129	0,368	3,28	3,07
Silice en r SiO_3^{--}	2,55	1,22	2,6	2,8	3,18
Fe	trace	+	+	-	+
Oligo-éléments	I, Li	Al, Mn	Al, Mn	I, Li	I, Li
M.O. Mg/l	12,2			trace	18,2
N° de graphique	21	22	23	24	25

ANALYSES D'AX-LES-THERMES

	Mystère (2)	Mystère (1)	St-Roch (2)	St-Roch (1)
t. °C.	49,5	47,2	40,8	43,4
pH.				
R. ohms. cm à 18 °C.		4700		4955
R.S. à 180 °C mg/l	229,4	229,4	231,2	231,2
Q $m^3/s.$				0,84
Radio-act m μ ci/l		1,16		
Gaz	-	-	-	
r Ca^{++}	0,24	0,24	0,15	0,15
r Mg^{++}	trace	trace	trace	trace
r Na^{+}	2,13	2,15	2,21	2,23
r K^{+}				
Total cations	2,37	2,39	2,36	2,38
r Cl^{-}	0,4	0,4	0,37	0,37
r SO_4^{--}	0,44	0,44	0,5	0,5
r CO_3^{--}	1		0,93	
r HCO_3^{-}	0,73	1	0,66	0,93
r S^{--}	0,46	+	0,44	+
r $S_2O_3^{--}$	0,07		0,12	
r SiO_3^{--}				
Total anions	3,1	1,84	3,02	1,8
silice en r SiO_3^{--}	3	3	3,17	3,17
Fe	trace	+	trace	+
Oligo-éléments	I,Li	I, Li, B	I, Li	Li, I, B
M.O. mg/l	6,1		1,7	
N° de graphique	26	27	28	29

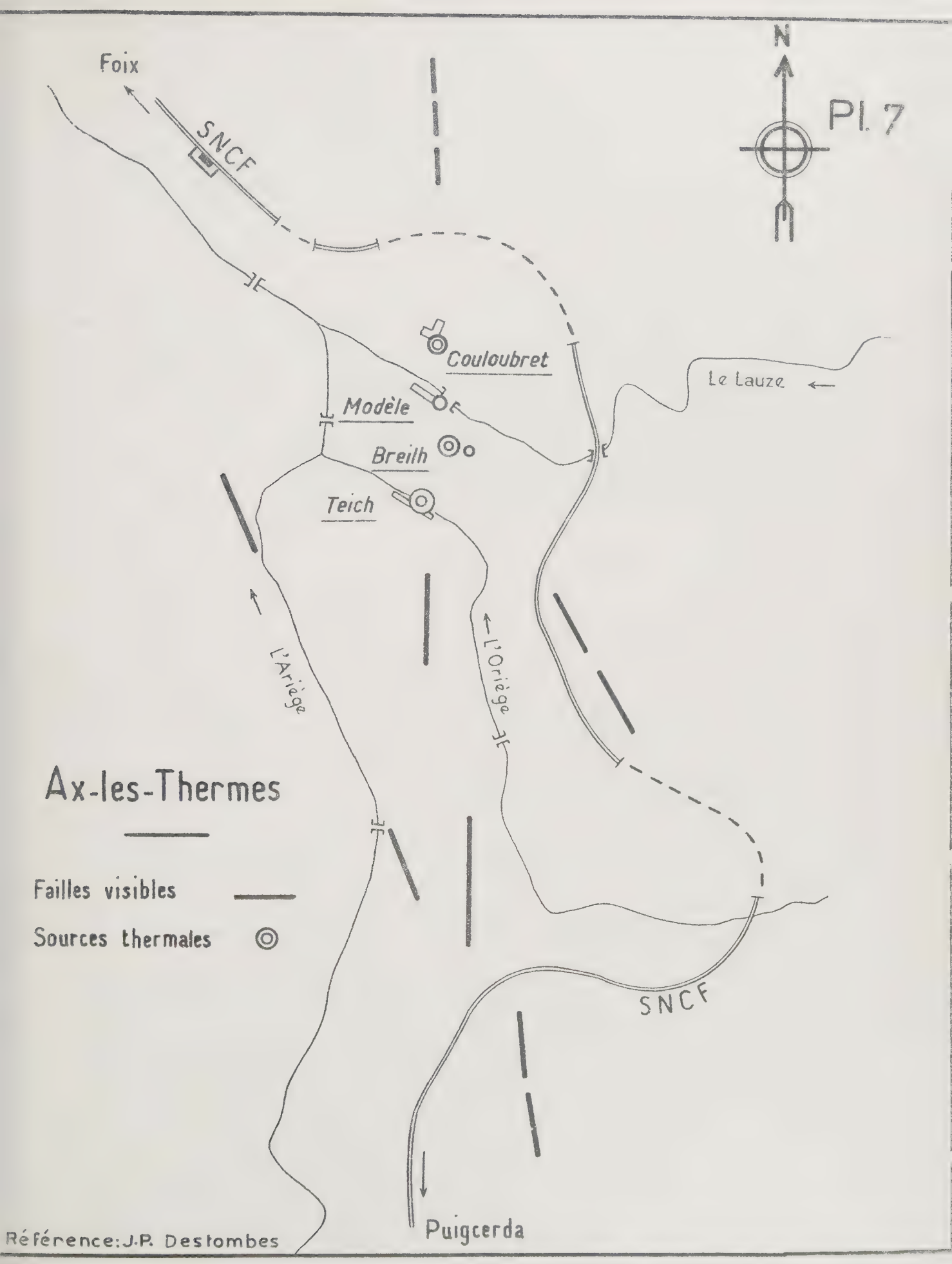
f - Hydrogéologie d'Ax-Les-Thermes

Ax est construit sur le confluent de trois vallées de la Lauze, de l'Oriège et de l'Ariège. D'après différents auteurs il y a entre 60 et 80 venus d'eaux thermales sulfurées sodiques, répartis dans quatre établissements : Sur la rive droite de la Lauze à quelques mètres de distance on trouve, l'établissement de Couloubret, sur cette même rive droite de la Lauze on trouve, l'établissement de Modèle et Breilh. Sur la rive gauche de l'Oriège au pied du Rocher de la Vierge est bâti l'établissement de Teich (planche 7 faite d'après la photo aérienne de I.G.N.)

1) Origine des eaux

En ce qui concerne l'origine des eaux d'Ax, P. URBAIN a supposé que les eaux d'Ax pourraient provenir soit des précipitations de la pluie, coupe de la région d'Ax (planche 8), soit par infiltration d'eau des lacs, situés au-dessus de la station, à une distance de 5 kilomètres environ, tel est le cas de Naguilles, qui se trouve sur le contact entre les roches granitiques ou granito-gneissiques et les schistes à une altitude supérieure à celle des sources. Les eaux infiltrées de ces lacs prendraient le chemin de la surface de contact des deux formations granitiques et schisteuses vers les points où les résistances hydrostatiques et hydrodynamiques sont très faibles. C'est-à-dire au fond des vallées hypothèse réduit la surface de chauffe de l'eau d'infiltration à une superficie de 20 km^2 environ. Or un rapide calcul montre que les calories apportées par les griffons d'Ax égalent 924 000 cal/sec, ce qui entraîne une surface de chauffe, compte tenu du flux thermique terrestre, de : $\frac{924\,000}{1{,}3 \cdot 10^{-6}} = 7{,}1 \cdot 10^{11}\ cm^2$ d'où, un flux détourné sur 71 km^2 - en ne tenant compte du refroidissement des terrains par l'eau d'infiltration.

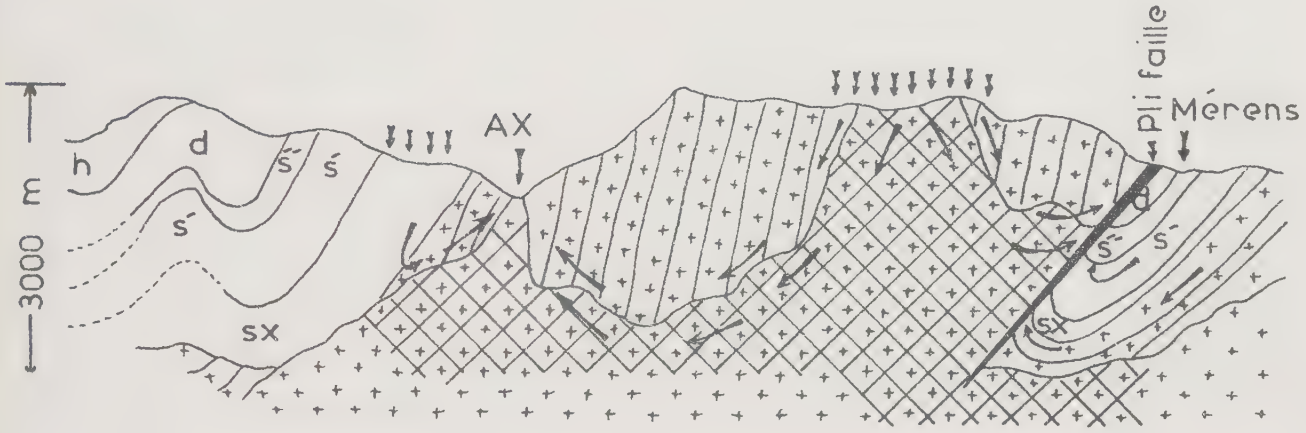
La surface d'infiltration recouvrirait donc au moins une grande partie du massif granitique de l'Aston (en 400 km^2). Pour être effective, l'infiltration à partir du lac situé au-dessus de la station, n'en est pas moins insuffisante pour produire le thermalisme d'Ax - et à plus forte raison celui de la faille de Mésers comme semble l'indiquer la planche 8.


N
Pl. 7
Foix
SNCF
Couloubret
Modèle
Breilh
Teich
Le Lauze
L'Ariège
l'Oriège
Ax-les-Thermes
Failles visibles
Sources thermales
SNCF
Puigcerda
Référence: J.P. Destombes

AX-LES-THERMES

Pl. 8

Coupe géologique sommaire, l'hypothèse de l'origine des sources



Granite

Gneiss

SX Micaschistes

S´ Silurien inférieur

S´´ Silurien supérieur

d Devonien

h Carbonifère

Zone diaclasique

pli_faill

Zone d'absorption

Parcours souterrain des eau absorbées

Référence: P. Urbain

2) Griffons des sources

Les nombres des griffons des eaux sulfurées à Ax présente un cas particulier parmi les autres stations des Pyrénées. On sait que les fractures, normalement interviennent pour diriger les eaux thermales ascendantes. A Ax, les eaux des quatre goupes du Couloubret, Modèle, Breilh et Teich sortent certainement de ces fractures (les planches 9-10-11) mais la multiplicité des points d'émergences à Ax se traduit par les cheminements dans le terrain de TAPP, dont le durcissement est dû au passage des eaux sulfurées chargées de silice. Elles ont déposé depuis des années un ciment siliceux qui a transformé les alluvions en une couche compacte et étanche (TAPP). En vérité chaque source comprend fréquemment plusieurs griffons.

L'eau issue de ces griffons a les mêmes caractères que l'eau qui sort du granite (groupe de Teich).

D'après GARRIGOU, le groupe de Breilh vient directement du granite par plusieurs ouvertures, au point le plus haut des sources de la station non recouvertes par la couche da TAPP. Il donne un débit énorme et l'eau est hyperthermale. Les sources du Modèle émergent du Tapp, une liaison certaine existe entre ces sources et le groupe de Breilh. Le groupe de Couloubret qui est capté dans les alluvions, livre des eaux moins chaudes, qui présentent dès le captage, lès caractères des eaux sulfurées dégénérées GARRIGOU a montré les positions des groupes d'émergences et les formations géologiques de la station sur la coupe N-S d'Ax-les-Thermes (planche 12).

g - Conclusion

Les eaux d'Ax-Les-Thermes ont des compositions chimiques identiques, et elles sont classées comme sulfurée sodique et caractérisées par une faible minéralisation, Les eaux sont hyperthermales, et les sources ont une origine profonde, sauf quelques-unes, dont l'eau est probablement mélangée avec les eaux superficielles près de la surface.

D'après les travaux de GARRIGOU et DESTOMBES, on peut conclure que les eaux thermales d'Ax, sortent des failles. Le sondage fait par la compagnie des Thermes d'Ax en 1963 certifie cette hypothèse (coupe de terrain, source de Viguerie Etablissement de Teich - planche 13). Après avoir traversé successivement les éboulis, le tapp puis le granite, le forrage a atteint la faille génératrice d'eau thermale à - 13,8 m sous le sol.

Toutes les sources sulfurées sodiques des Pyrénées laissent précipiter la silice aux points d'émergences, à cause de la diminution du pH et de la température au contact avec les eaux superficielles. A Ax, les eaux chargées de la silice colloïdale laissent précipiter de la silice dans les alluvions qui sont superposées au granite.

Enfin, on peut penser que les différences de températures, de minéralisations et de débits observés, sont dues à l'existence d'une couche d'alluvions, à travers laquelle les eaux cheminent entre le granite et la surface des griffons.

E - MASSIF DU CARLITE

LES ESCALDES ET DORRES (Pyrénées Orientales).

Coordonnées	Les Escaldes	Dorres
Longitude Est de Greenwich	55' 30"	55' 40"
Latitude Nord	42° 29' 20"	42° 28' 40"
Altitude mètres	1350	1400

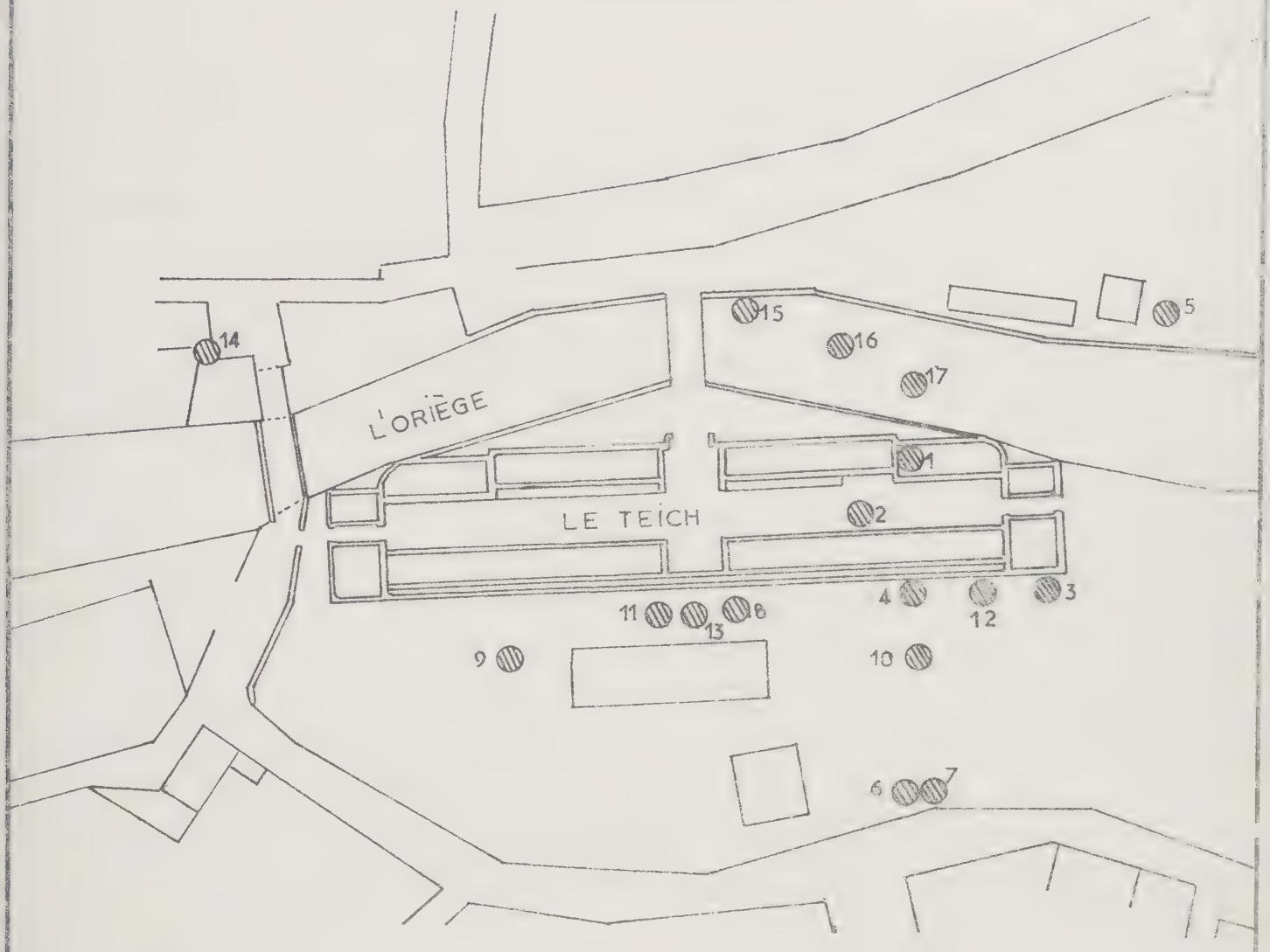
a - Situation géographique

Les Escaldes sont situés à 10 kilomètres au Nord de Bourg-Madame, (frontière d'Espagne) au pied des contreforts du carlit (2921 m). Le village est fortement protégé par ce massif contre les ventes du Nord. Il est encerclé

AX-LES-THERMES

Groupe du TEICH

Pl. 9



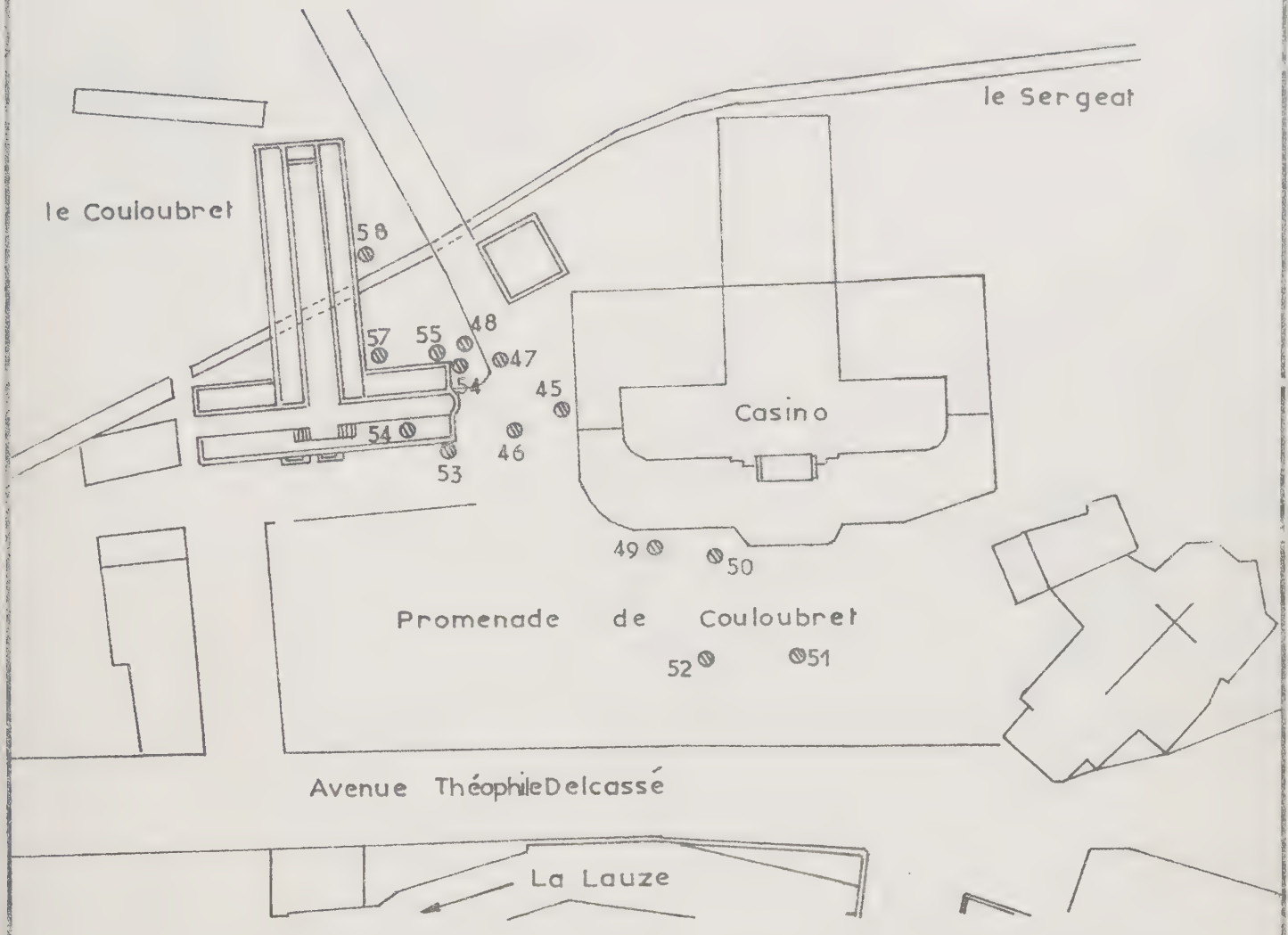
1 Source Viguerie
2 —— joly
3 —— Isabelle
4 —— Pyramide
5 —— Puits d'Orlu
6 —— St. Roch à droite
7 —— —— gauche
8 —— Eau Bleue
9 —— Griffons Boulié
10 —— —— des Tivoli
11 Source Patissier
12 —— Astrie
13 —— Quod
14 —— Fontaine des Neiges
15 —— Source des Abeilles du Teich
16 —— Griffons de l'Oriege
17 —— ——

Référence: P. Urbain

AX-LES-THERMES

Groupe du COULOUBRET

Pl.10



45 Source Gaston phoebus

46 Griffons pilhes

47 —— Source Basse

48 —— Source Basse

49 —— de la Source du Casino

50 —— de la Source du Casino

51 —— de la Source Rougerou

52 Griffons de la Source Rougerou

53 Source Sulfuro ferrugineuses

54 —— Gorguette

55 —— Majeure

56 —— Canalette

57 —— Mystère

58 —— du Bain Fort du Couloubret

Référence: P. Urbain

AX-LES-THERMES

Groupes: MODÈLE BREILH

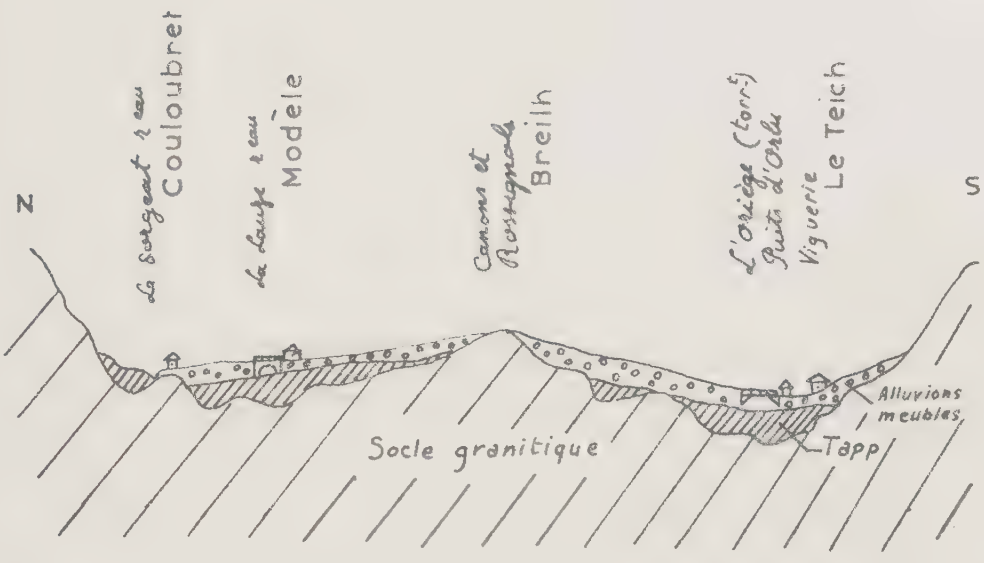
Pl.11

21 Source du Coustou à gauch
22 —— du Coustou à droite
23 —— du Rossignol inferieur
24 —— —— superieur
25 —— des Canons
26 —— de l'Etuve de l'Hôpital
27 —— Fontaine des Yeux
28 Griffons du Bassin des Ladres
29 Sorce du Bain Fort Modèle
30 —— Grosse Sulfureuse
31[a] —— Alcaline
31[b] —— Alcaline
31[c] —— Alcaline

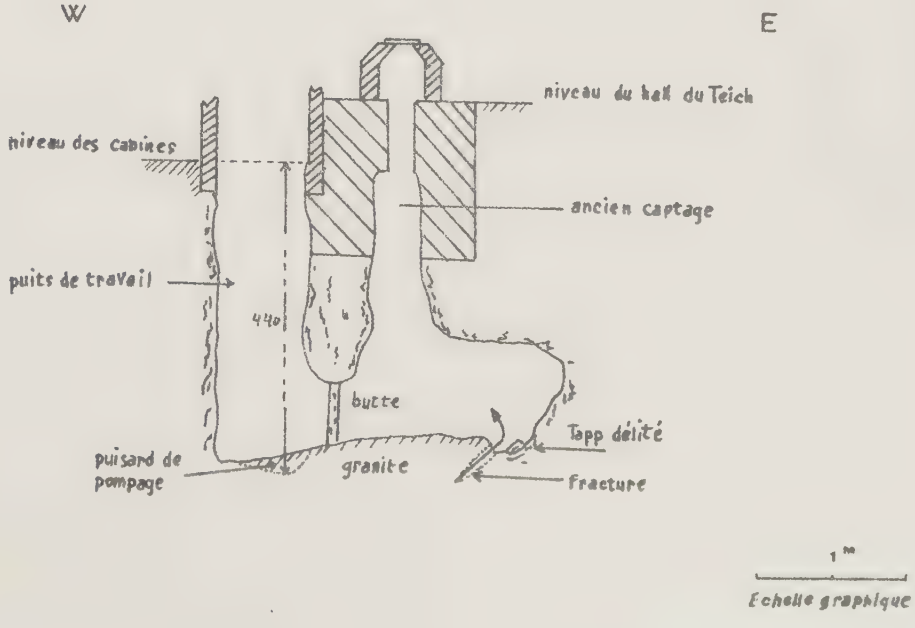
32 Source des Abeilles du Modèle
33 Griffons de l'Etuve du Modèle
34 —— ——
35 —— ——
36 —— de La Lauze
37 —— ——
38 —— ——
39 Source Hardy
40 —— Petite Sulfureuse Miraculeuse
41 —— Longchamp
42 Griffons Filhol
43 Source Fontan
44 —— Anglada

Référence: P. Urbain

COUPE GÉOLOGIQUE D'AX



CAPTAGE VIGUERIE

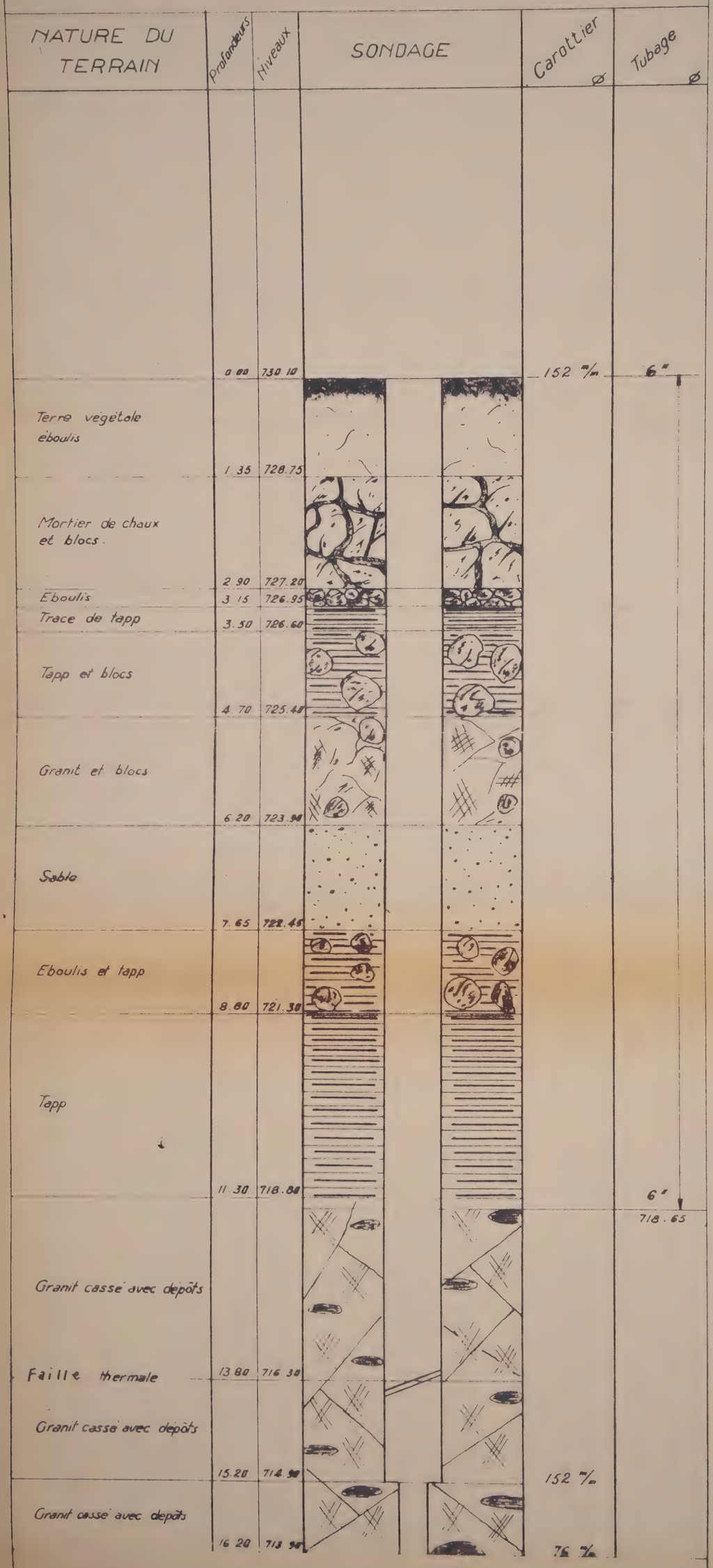


Référence: J. P. Déstombes

AX-LES-THERMES

SONDAGE DIAMANT

Pl.13



LE TEICH

par un cirque qui le protège sur trois côtés, en leur laissant une large exposition au soleil. Le sanatorium des Escaldes est construit dans cette cuvette.

A 2 kilomètres des Escaldes vers l'Ouest, on rencontre à Dorres, une source isolée de même nom.

b - Climat

La température minimum en hiver est : 3°, en été elle atteint 25° au maximum. La pression barométrique oscille autour de 635 mm (Docteur HERVÉ).

c - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des eaux s'échelonne entre 18° et 40 °C. Le pH de la source de Dorres déterminé par la méthode colorimétriques est de 7,6. Le débit est environ 5.10^{-3} m^3/s. La résistivité de l'eau est de 6200 ohms.cm à + 18 °C. L'eau est incolore. Le débit de la Grande Source est de 800 m^3 d'eau par jour, les autres ont un débit sensiblement inférieur. Elles sont chargées en silice (1,99 milliéquivalents par litre, source colomer). La glairine est abondante comme dans certaines sources sulfurées sodiques des Pyrénées, 7,5 mg par litre pour la source Colomer, 26,1 pour la source Merlat (Anglada). Le dégagement de gaz est abondant dans les sources les plus chaudes (source de Dorres).

d - Hydrogéologie des Escaldres et Dorres

Les griffons des Escaldres sont situés sur le flanc Sud du Pic du Carlite, près du contact du massif granitique du Carlite et des terrains siluriens (voir la carte géologique planche 26 sources autour du Massif du Canigou). La distance entre les sources est de 200 mètres environ.

La source de Dorres est à 1 kilomètre à l'Ouest des sources des Escaldres. Les eaux chaudes de cette source sortent dans le granite à fissures qui affleure à quelques mètres en aval du village.

La région des Escaldres est recouverte par les formations glaciaires. L'abaissement de la température de quelques sources comme : Saint-Joseph, doit être dû au passage des filets d'eau dans ces formations, constituées par des

ANALYSES DES EAUX DES ESCALDES ET DORRES

	Dorres (2)	Colomer (3)	Colomer (2)	Merlet (7)	La Gazette (2)	Pastou-rale (2)	St-Joseph (2)
t. °C	40,4		42,3	33,1	33	26,1	18,3
pH							
R. ohms. cm à 18 °C.	173,2		179,8		176,8	173,2	174,6
R.S. à 180 °C.							
Q $m^3/s.$							
Radio-act. m µci/l							
Gaz							
r Ca^{++}	0,16	0,15	0,15	0,128	0,1	0,1	0,1
r Mg^{++}	trace	0,025	0,028		0,016	trace	trace
r Na^{+}	1,71	1,7	1,68	2,604	1,73	1,66	1,70
r K^{+}		0,07	0,07		0,063	0,048	0,075
Total cations	1,87	1,945	1,928	2,732	1,909	1,808	1,875
r Cl^{-}	0,2	0,14	0,14	0,374	0,17	0,14	0,15
r SO_4^{--}	0,27	0,18	0,17	1,33	0,263	0,278	0,265
r CO_3^{--}	0,51	0,58	0,578	1,028	0,566	0,59	0,62
r $H\,CO_3^{-}$	0,37		0,42		0,41	0,42	0,46
r S^{--}	0,46	0,65	0,64		0,39	0,31	0,29
r $S_2O_3^{--}$	0,2	0,15	0,16		0,17	0,16	0,16
r SiO_3^{--}	0,23	0,35	0,24		0,35	0,33	0,39
Total anions	2,24	2,05	2,348	2,732	2,319	2,228	2,335
silice en r SiO_3^{--}	1,95		1,99	0,87	1,86	1,9	1,7
Fe mg/l	trace	0,2	+		+	trace	trace
Oligo-éléments	As, I, P		As, I,B		As, I, P.	As, I, B.P	As, I, B
M.O. mg/l	7,4		15		7,8	11,3	11,1
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7

alluvions et des blocs granitiques, apportés par les glaciers quaternaires.

D'après la composition chimique et la température de ces eaux, on peut conclure à une origine profonde.

Les eaux sont classées comme sulfurées sodiques et bicarbonatées, riches en silicium. La minéralisation des eaux est très faible, le résidu sec ne dépasse pas 175 mg par litre. La sulfuration des eaux n'est pas forte (0,6 milliéquivalents par litre de soufre). L'origine des éléments qui constitue la minéralisation de l'eau doit être recherchée dans les terrains primaires et cristallins du massif du Carlite.

F - MASSIF DE GOURS-BLANCS

BAGNERES-DE-LUCHON (Haute-Garonne)

Longitude : 0° 35' Est de Greenwich
Latitude : 42° 47' 30" Nord
Altitude : 635 mètres

a - Situation géographique

La ville de Luchon est située au Centre des Pyrénées dans la vallée de la Pique, adossée à la montagne de Superbagnères (Voir planche 14) et au Sud du département de Haute-Garonne, près de la frontière de l'Espagne.

Deux cours de la Pique et de l'One passent de l'Est et du Nord du Cauterets, se confluent au Nord-Est de la ville.

b - Climat

Le climat de Luchon à cause de sa situation géographique, entourée par les hautes montagnes de toutes parts est doux, assez régulier, abrité des vents violents et des brouillards.

c - Situation géologique

Les sources thermales de Luchon sont issues des schistes métamorphisés au contact des granites ou granulite à mica blanc palmé. Le granite de Luchon appartient au petit massif de Luchon qui projette de nombreuses identations dans les schistes siluriens de la vallée de la Pique des Montagnes de Superbagnères (carte géolosique planche 27). D'après URBAIN sur une distance de moins de 225 mètres, on trouve quatre indentations du granite, leur largeur est d'environ d'une dizaine à une cinquantaine de mètres. Les schistes du silurien et du Dévonien font des anticlinaux à Cauterets (coupe géologique planche 14), qui disparaissent vers l'Ouest sous des sédiments de la série carbonifère.

d - Propriétés physiques des eaux de Luchon

Les eaux de Luchon sont méso et hyperthermales. Les tableaux pages suivantes d'après la statistique de l'Industrie minérale montrent la température, le débit moyen et la nature des eaux de Luchon. Afin de pouvoir comparer la fréquence de la température des trois zones d'émergences à Luchon, nous avons tracé l'histogramme des températures des eaux (planche 15)

Pour connaître l'origine des eaux de cette station, l'Institut National d'Hydrologie et de Climatologie a fait des mesures de température sur 115 griffons d'une vingtaine de sources, aux mois de Juillet, Décembre et Janvier des années 1957 et 1958 (voir les tableaux pages suivantes, et les planches 16-17-18-19-). On remarque des variations avec la saison.

Le débit total des sources luchonnaises atteint $5,7 . 10^{-3}$ m^3/s, soit 450 à 500 m^3 par 24 heures), avec fluctuation selon les périodes et les époques. La source Françoise donne 500 à 600 m^3 par 24 heures. L'eau tiède peu sulfurée, sert pour refroidir les eaux chaudes.

La résistivité à 18 °C, entre 2 000 et 4 500 ohms. cm, est la conséquence de la faible minéralisation.

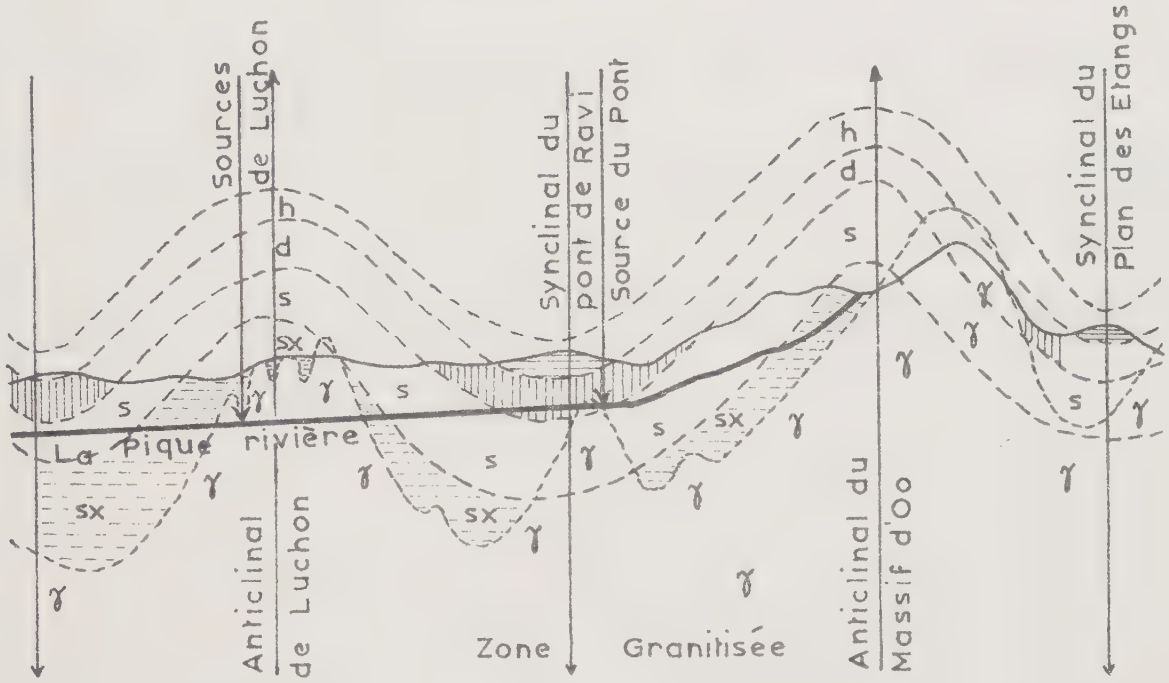
L'eau est limpide, à saveur et odeur d'oeufs couvés à son émergence.

BAGNÈRES-DE-LUCHON

Pl. 14

Coupe géologique sommaire de la région

N S



γ Zone Granitisée

s Silurien

sx Micaschistes

d Dévonien

h Carbonifère

Rivière

Surface de la Terre

Référence: P. Urbain

DISTRIBUTION DES TEMPERATURES DANS L'ENSEMBLE DES GALERIES DE CAPTAGE

BAGNERES-DE-LUCHON

Nature des roches visibles dans la zone	Nombre de points d'eau	température maximum
Zone Nord : Schistes siluriehs avec indentations granitiques nombreuses, mais de faible épaisseur	1 (sur 38) de 15 à 30 1 " de 30 à 35 1 " de 35 à 40 4 " de 40 à 45 5 " de 45 à 50 5 " de 50 à 55 9 " de 55 à 60 12 " de 60 à 65	65
Zone moyenne : Schistes siluriens avec indentations granitiques plus rares et plus puissantes.	4 (sur 18) de 30 à 35 9 " de 35 à 40 3 " de 40 à 45 2 " de 45 à 50	48,5
Zone Sud : Granites massifs, interrompus par de nombreuses diaclases.	1 (sur 56) de 25 à 30 2 " de 30 à 35 10 " de 35 à 40 20 " de 40 à 45 13 " de 45 à 50 7 " de 50 à 55 2 " de 55 à 60 1 " de 60 à 65	65

DEBIT ET TEMPERATURE DES SOURCES DE BAGNERES-DE-LUCHON

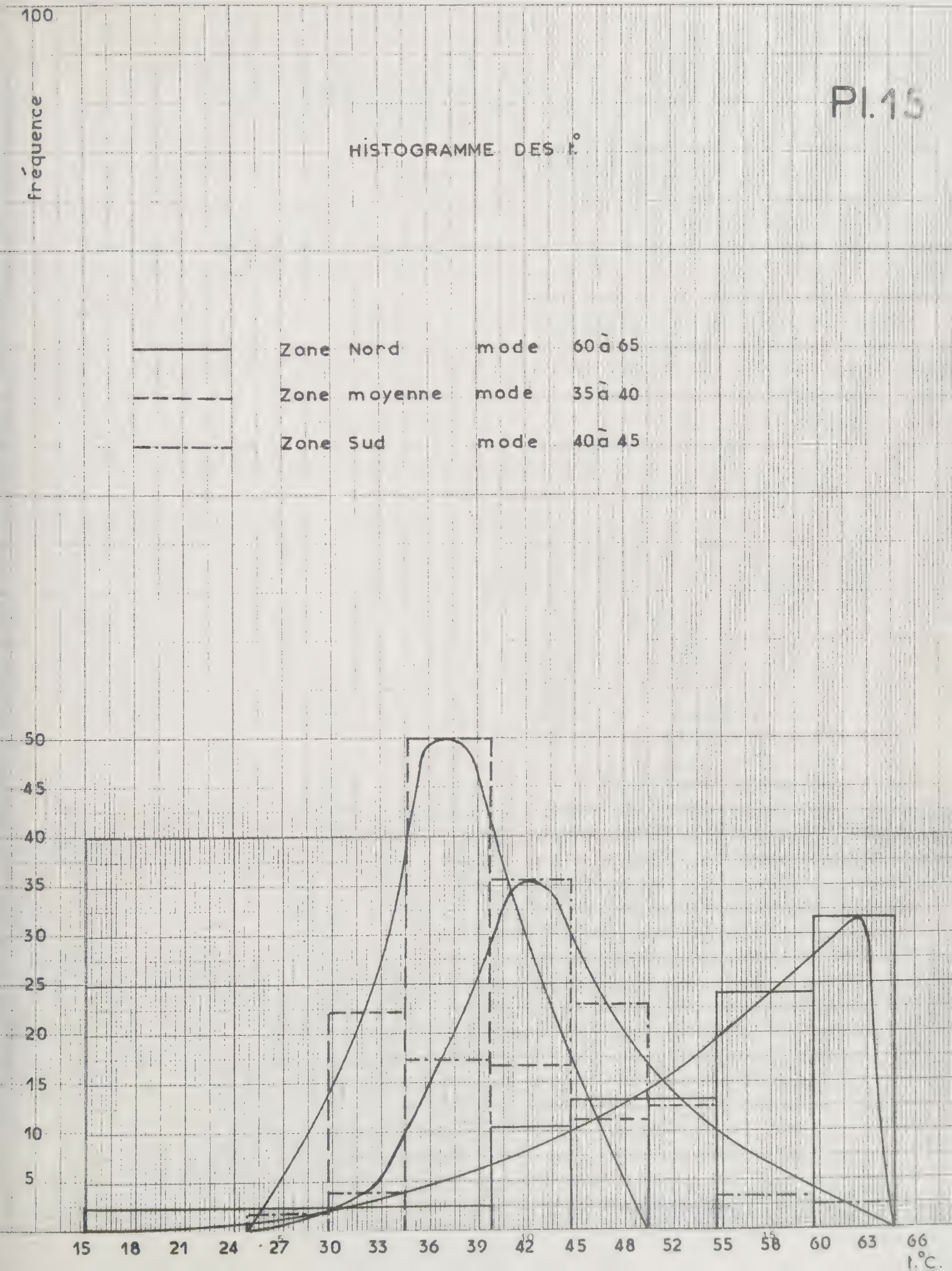
Sources	Nature des eaux	débit moyen l/minute	température C°
Azémar	S.S.	21	51
Bayen	"	5	63,6
Blanche	"	19	57,1
Bordeu	"	70	47
Bosquet	"	15	43
Enceinte	"	4	47,5
Etigny (La Chapelle)	"	7	48
Ferras ancienne	"	1	50,5
Ferras nouvelle	"	7	48,5
Grotte intérieure I	"	7	52,5
Grotte intérieure II	"	8	56
Le Pré n° 1	"	6	60
Le Pré n° 2	"	6	50,5
Le Pré n° 3	"	1	43
Reine	"	55	57
Richard ancienne	"	12	38
Richard nouvelle	"	43	50
Romains	"	2	43
Tièdes du Sud	F.R.	30	30,5
Lepape	F.R.		
Moureu	F.R.		
Saline froide	F.R.	390	17
Sengez	F.R.	17	41

S.S. = Sulfurée sodique

F.R. = Sulfurée sodique et ferrugineuse-radioactif

Pl.15

HISTOGRAMME DES t°



MESURES DES TEMPERATURES (°C) DES SOURCES DU GROUPE SUD et NORD

Sources	Juillet	Décembre	Janvier	Δ t. °C.	Sources	Juillet	Décembre	Janvier	Δt. °C.
Etigny	58		53,1	4,9	Richard n° 1	54	64,1	51,5	7,9
Romains n° 1	53	50	50	3	" 2	55	53	55	2
" n° 2	45,5		41	4,5	" 3	56,1	55	56,1	1,1
François	18				" 4	47	47,5	50,1	
Enceinte	54,4	54,1		0,4	Ricgard ancienne			44	
Ferras n° 1	45	42,1		2,9	Azémar	55	52,1	54,1	0,9
Ferras n° 2	50	47		3	Burgalat n° 1	48		45,5	2,5
Ferras n° 3	37	29	29,1	8	" 2	41		39,9	1,1
Ferras enceinte			46,5		Cantaloup n° 1	49	49	48	1
Blanche n° 1	56	54	52,5	5	" 2	35	35		0
" n° 2	53,8	52,8			Molinery n° 1	41,5			
Grotte n° 1	62	59,9	59,1	2,9	" 2	47,1			
" 2	61,5	58,5	59,1	2,4	" 3	40,5			
" 3	61,5	58,1	59,1	3,4	" 4	41			
" 4	61,5	58,1	59,9	3,4	" 4 bis	46			
" 5	61,2	58,6	60	2,6	" 5	39,5			
" 6	63	60,1	60,9	2,9	" 6	37,7			
" 7	61	59	59	2	" 7	38			
" 8	62	56	58,1	6	" 8	37,2			
" 9	58	56,1	55,1	2,9	" 9	42			
Grotte Bayen	65	63	62,6	2,4	" 10	42			
Reine n° 1	64	64,2	64,9		" 10 bis	42			
" 2	60	58,4	59,8	1,6	" 10 ter	42,5			
" 3	61	60	61	1	" 11	39			
" 4	57,5	55,9	57	1,6	" 12	39,5			
" 5	57,5	56	57	1,5	" 13	41,5			
" 6	58,5	56,2	57,6	2,3	Saule n° 1	51,5	52,5		
" 7	57	56,8	57,5	0,2	" 2	45	44		

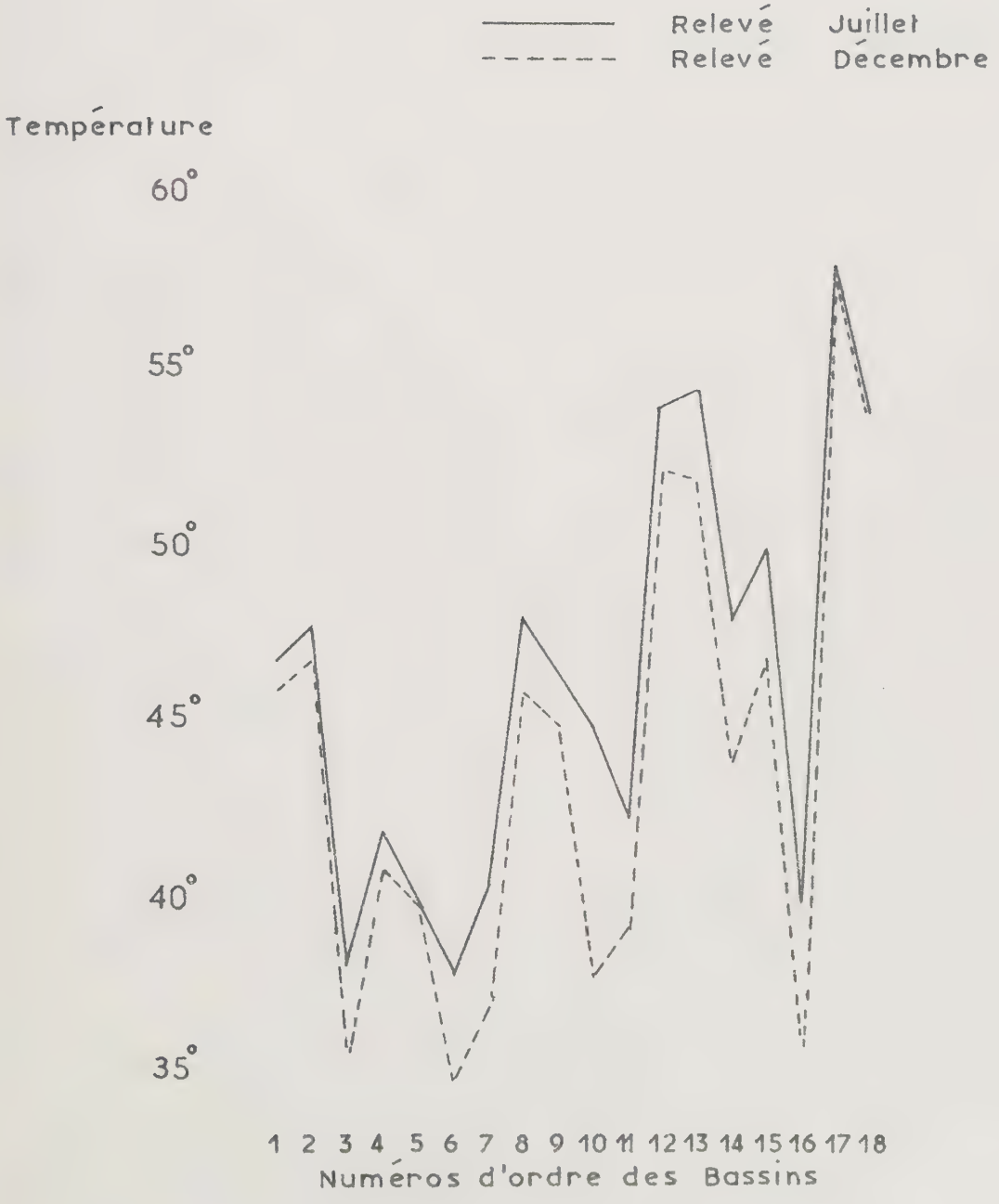
MESURES DES TEMPERATURES (°C) DES SOURCES DU GROUPE SUD

Sources	Juillet	Décembre	Janvier	t. °C.	Sources	Juillet	Décembre	Janvier	t. °C.
Saule n° 3	57	57			Bordeu n° 12	54,2	52,5		1,7
" 4	51,5	49,1		2,4	" 13	54,5	52,1		2,4
Moissan	40,5				" 14	48	44		4
Bardet n° 1	43				" 15	50,1	47		3,1
" 2					" 16	40	36		4
" 3	40				" 17	58,2	58		0,2
" 4	40				" 18	54	53,5		0,5
" 5	41				Moureu	29			
Mineurs n° 1	41	39,2		1,8	Lepape n° 1	30,5			
" 2	50,5	48,1		2,4	" 2	30			
" 3		43,1			Sengez n° 1	31,5	26		41(mélange)
Pré n° 1	65	63		2	" 2	48,5	47		1,5
" 2	48	46		2	" 3	39	33		6
" 3	45,5	45		0,5	" 4	44	44		0
" 3 bis	46	44,5		1,5	" 5	36	32		4
" 3 ter	47	46		1	" 6	38	33		5
Bordeu n° 1	47	45,8	40	4	" 7	42,5	41,1		1,4
" 2	48	47,1	44	4	" 8	39	38		1
" 3	38,5	36		2,5	Bosquet n° 1	46,5	43,1		3,4
" 4	42	41		1	" 2	43,5	45,2		
" 5	40,5	40		0,5	" 3	39	38,1		0,9
" 6	38	35		3	" 3 bis	36			
" 7	39,5	37,1		2,4	" 4	38	38		0
" 7 bis	39,5	38,1		1,4	" 5	37,5	35		2,5
" 8	48,2	46,1		2,1	" 6	30	26		4
" 9	46,5	45		1,5	" 7	39	37,5		1,5
" 10	45	38		7	" 8	33	38		
" 11	42,5	39,5		3	Lachapelle	32			

Pl.16

Variation de la température du

Groupe BORDEU



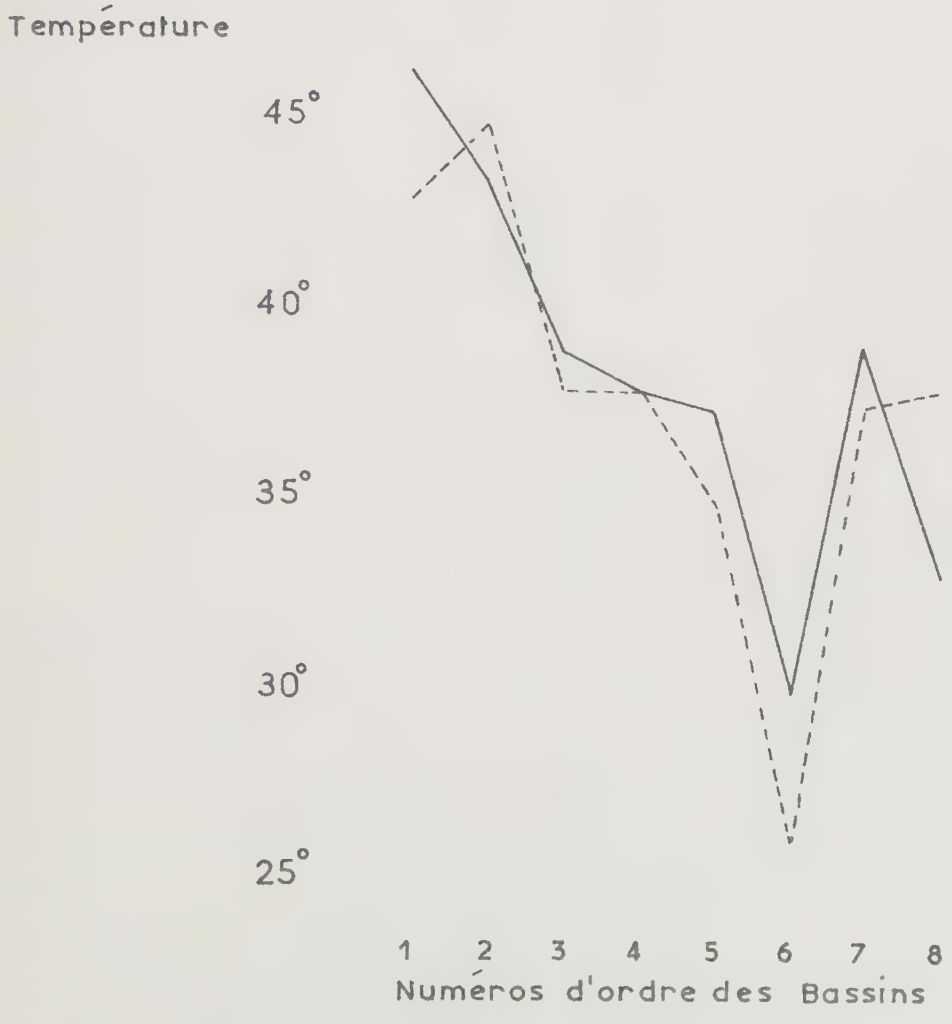
Pl. 17

Variation de la température du

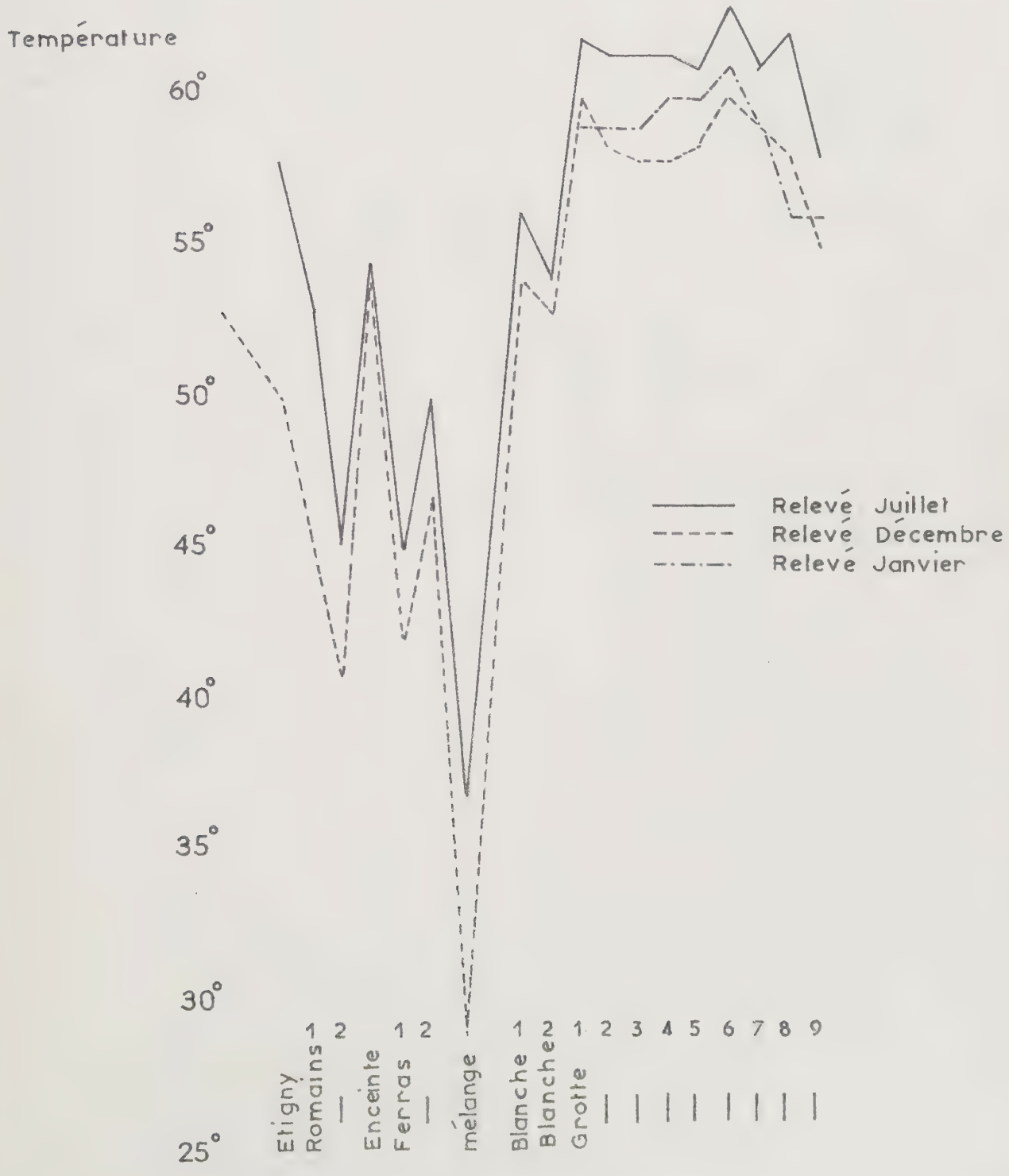
Groupe BOSQUET

——— Relevé Juillet

- - - - - - - Relevé Décembre

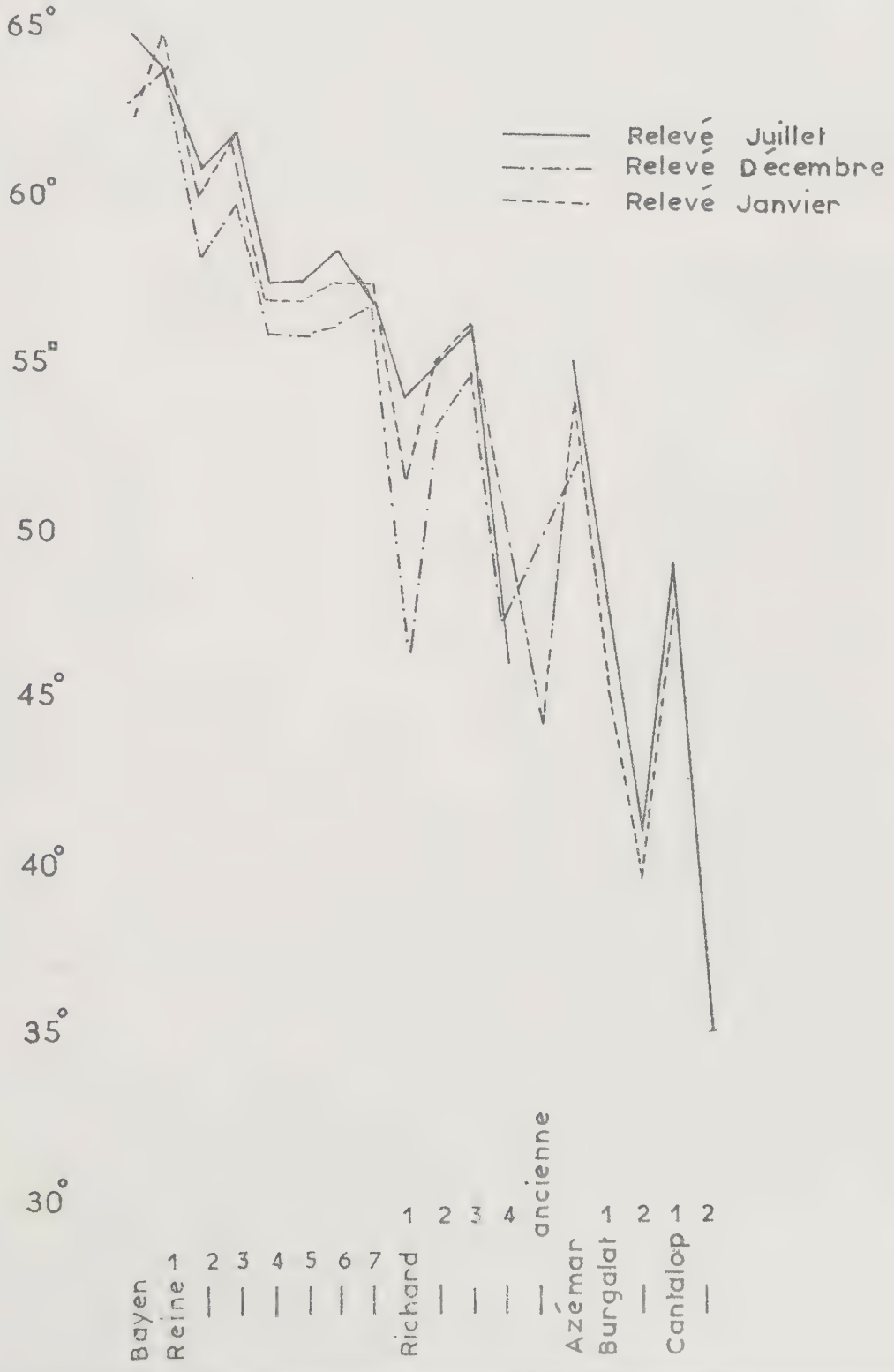


Variation de la température des
Galeries NORD



Variation de la température des
Galeries NORD

Pl. 19



e - Propriétés chimiques des eaux de Luchon

Le pH des multiples griffons de Luchon est déterminé par F. CAUJOLLE, E. STANISLAS et P. FLENTIAUX (voir page suivante).

La minéralisation des eaux est faible comme les eaux sulfurées sodiques des Pyrénées, d'une sulfuration très élevée, d'après JADIN et ASTRUC la sulfuration des eaux de Luchon est la suivante :

Sources	température	Na_2S mg/l	$Na_2S_2O_3$ mg/l
Bayen	64°,5	76,3	3,8
Reine	57°,5	54,4	5,7
Grotte supérieure	59°	49	4,7
Richard nouvelle	48°	48,4	5,7
Richard ancienne	41°	32,8	2,5
Ferras nouvelle	40°	27,1	2,8
Ferras ancienne	36°	7,7	1,9
Bosquet	44°	58,6	1,9
Bordeu n° 1	57°,5	76,9	
Bordeu n° 2	35°	19,1	
Bordeu n° 3	47°	64,8	1,9
Pré n° 1	62°	75,3	1,7
Pré n° 2	42°,6	51,7	2,5

pH DES GRIFFONS DE BAGNERES-DE-LUCHON

Sources	Valeur du pH 1932	Valeur du pH 1955	Sources	Valeur du pH 1932	Valeur du pH 1955	Sources	Valeur du pH 1932	Valeur du pH 1955
Bordeu 10	8,9	8,8	Molinéry 4	-	7,8	Bosquet 2	9,0	8,9
" 11	9,05	8,9	" 4 bis	-	8,8	" 3	8,95	8,75
" 12	8,75	8,9	" 5	-	7,5	" 3bis	-	-
" 13	9,15	8,95	" 6	-	7,8	" 4	8,75	8,7
" 14	8,3	8,95	" 7	-	7,8	" 5	9,05	8,9
" 15	-	9,0	" 8	-	7,8	" 6	8,95	8,7
Saule 1	9,05	8,9	" 9	-	8,7	" 7	8,95	8,9
pré 1	9,0	8,8-9,1	" 10	-	8,8	Sengez 7	9,05	9
" 2	9,1	8,8-9,05	" 10 bis	-	8,8	Bordeu 1	8,4	8
" 3	9,05	8,7	" 10 ter	-	8,6	" 2	8,6	8,55
pré 3 bis	8,7	8,6	Moissan	-	8,2	" 3	8,4	7,8
" 3 ter	-	8,9	Bordet 1	9,0	8,8	" 4	8,75	8,6
Sengez 8	9,05	8,95	" 2	8,85	8,65	" 5	8,75	8,55
Mineur 1	-	8,4	" 3	8,6	7,8	" 6	8,7	8,6
" 2	9,0	8,7	" 4	9,0	7,8	7	8,95	8,85
Rond-Point	-	-	" 5	9,0	8,6	" 7bis	9,1	9
Saule 2	9,2	8,9	Lachapelle	8,1	8,8	" 8	9,05	8,9
" 3	9,2	9,05	Sengez 1	8,3	7,8	" 9	8,75	8,9
"	9,1	9,0	" 2	9,1	8,95	" 16	-	8,4
Molinéry 11	-	8,7	" 3	8,9	8,85	" 17	-	8,9
12	-	8,6	" 4	8,9	8,85	" 18	-	9
" 13	-	7,8	" 5	8,9	8,85	Moureu	-	7,7
" 1	-	7,8	" 6	9,15	8,9	Lepape	-	7,7
" 2	-	9,05	Lepape 2	-	7,8	Tièdes du Sud	8,05	7,7
" 3	-	7,8	Bosquet 1	9,05	8,9	Bosquet 8	8,25	7,5

Les eaux de Luchon s'altèrent rapidement au contact de l'air et d'après J. OUSTRAIN leur pH changent (tableau page suivante). Le phénomène de l'oxydation se produit dans le trajet des eaux de Luchon, par mélange avec les eaux superficielles, qui s'infiltrent et apportent l'oxygène et CO_2 de l'atmosphère. Près de la surface de la terre, la diminution du pH vers neutralité, est due à l'oxydation. Le soufre précipite à l'état colloïdal, et donne une teinte opalescente ou laiteuse (blanchiment).

On a divisé les eaux de Luchon d'après la prédominance des ions sulfurées; les eaux sulfurées fortes, les eaux sulphydriquées, les eaux hyposulfitées et les blanchissantes.

Dans les barégines des eaux de Luchon, V. BRUSTIER, grâce à la méthode spectrophotographie ultra-violette a trouvé des oligo-éléments tels que : Fer, Potassium, Aluminium, Magnésium, Calcium, Silicium, Gallium, Phosphore et des traces de Titane, de Plomb et d'Antimoine.

Les bassins de captage des sources possèdent une grande quantité de barégines, de teinte jaune, grise ou noire, dues à une association de colonies d'algues et de bactéries.

FLUCTUATIONS DU pH DE BAGNERES-DE-LUCHON DANS LE TEMPS

Sources	Conservation à l'abri de l'air en flacons pleins et bouchés			Conservation à l'air dans flacons ouverts					
	$pH_{(1)}$	$pH_{(2)}$	$pH_{(6)}$	$pH_{(1)}$	$pH_{(3)}$	$pH_{(4)}$	$pH_{(5)}$	$pH_{(6)}$	$pH_{(7)}$
Ravi				9,55	9,60	9,60	9,50	-	-
Bayen	8,90	9,00	9,05	8,90	9,00	9,00	8,95	8,65	8,25
Blanche 1	7,70	8,10	8,05	7,70	8,10	8,35	8,50	7,10	6,95
Blanche 2	8,85	9,00	8,95	8,85	8,90	8,90	8,85	8,80	8,35
Grotte 1	8,50	8,60	8,65	8,50	8,75	8,75	8,75	8,35	7,45
" 2	8,55	8,80	8,75	8,55	8,75	8,80	8,80	8,70	7,90
" 3	8,55	8,80	8,80	8,55	8,65	8,70	8,65	8,55	7,80
" 4	8,60	8,55	8,30	8,60	8,65	8,65	8,40	-	7,50
" 5	8,60	8,60	8,45	8,60	8,60	8,65	8,45	-	7,20
" 6	8,45	8,30	8,70	8,45	8,50	8,65	8,80	-	7,10
" 7	8,65	8,90	8,70	8,65	8,80	8,90	8,90	7,45	6,55
" 8	8,30	8,95	8,40	8,30	8,45	8,60	8,65	8,40	7,45
" 9	8,60	8,80	8,55	8,60	8,70	-	8,85	8,20	7,45
Enceinte	8,95	8,95	9,05	8,95	8,95	9,00	-	8,75	8,40
Ferras 1	6,90	6,90	6,70	6,90	8,95	6,90	-	7,45	8,05
Azémar				8,55	8,70	-	8,95	8,20	-
Richard 1	8,65	8,55	8,90	8,65	8,80	-	8,85	7,20	-
" 2	8,65	8,90	8,85	8,65	8,80	-	8,90	8,55	-
" 4	8,80	9,02	9,00	8,80	8,90	-	9,00	8,65	-
Reine 6				8,70	8,90	-	8,90	8,60	-
" 7				8,70	8,80	-	8,85	8,35	-
Moureu				5,00	4,80	-	4,80	5,25	5,10
Lepape 1				6,85	6,70	-	6,95	7,70	6,95
" 2				7,15	7,15	-	7,20	-	7,45
Bosquet 8				7,00	6,90	-	7,30	6,25	7,70

1) Avant refroidissement
2) Après refroidissement
3) Après 1 heure
4) Après 2 heures
5) Après 4 heures
6) Après 24 heures
7) Après 48 heures

La radioactivité des eaux de Luchon varie à l'inverse de leur température et sulfuration. Les travaux de A. LEPAPE les confirment (planche 20). Les recherches de J. OUSTRIN nous donnent les valeurs de la radioactivité des principales sources en m μ ci/litre à l'émergence.

RADIOACTIVITE DES PRINCIPALES SOURCES DE LUCHON

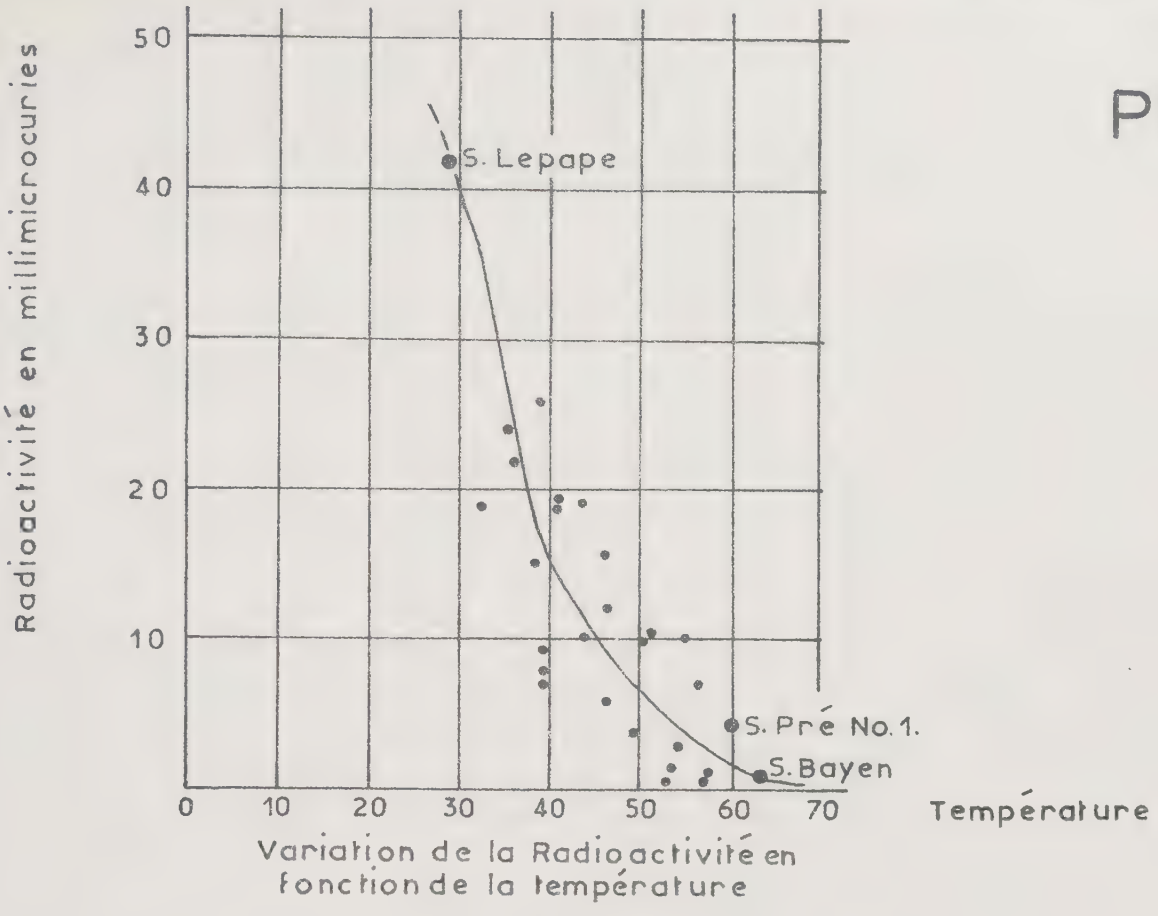
Sources	Moyennes	Min.	Max.
Lepape I	33,5	28,4	38,3
Lepape II	40,1	33,4	48,9
Moureu	24,9	21,1	28,9
Bosquet 8	28,2	23	38,8
Bosquet 4	14,8	11,9	22,5
Bosquet 6	17,4	15,3	20,4
Bordeu 6	12,7	11,8	13,9

La source de LEPAPE II, se classe d'après Société française d'Hydrologie et climatologie au troisième rang des sources radio-actives françaises.

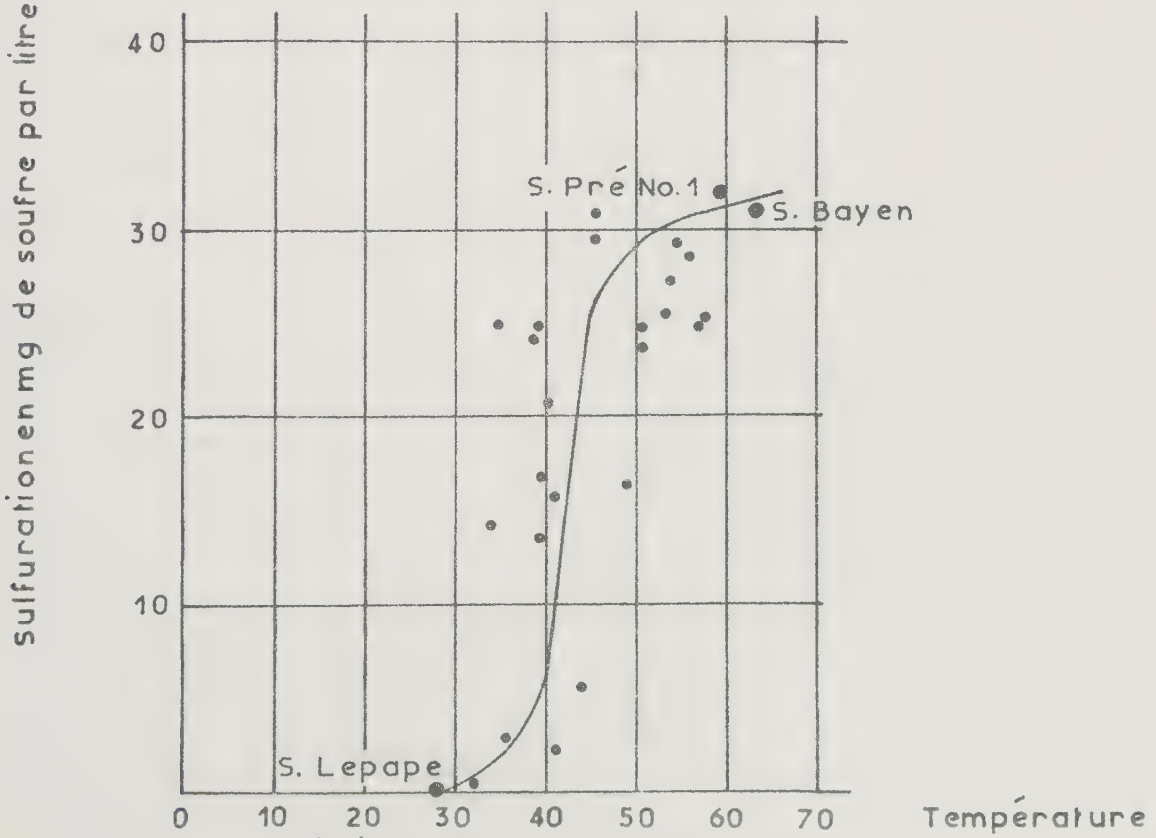
ANALYSES DE BAGNERES-DE-LUCHON

	Reine (1)	Reine (2)	Pré n° 1 (2)	Pré n° 1 (1)
t °C	58	57	62	50
pH				
R. ohms cm à 18 °C	2 160			2 060
R.S. à 180°C mg/l	299,4	299,4	329,2	329,2
Q m^3/S	$0,82.\ 10^{-3}$	$0,8.\ 10^{-3}$		$0,16.\ 10^{-3}$
Radio-act. m µci/l				
Gaz				
r Ca^{++}	0,53	0,53	0,21	0,21
r Mg^{++}	0,12	0,12	trace	trace
r Na^{++}	3,5	3,52	4,28	4,28
r K^{+}	0,092	0,09	0,18	0,18
Total cations	4,242	4,26	4,67	4,67
r Cl^{-}	1,32	1,3	1,6	1,64
r SO_4^{--}	0,74	0,73	0,24	0,24
r CO_3^{--}		0,8	0,49	
r HCO_3^{-}	0,8	0,75	1	0,79
r S^{--}	+	1,4	1,9	+
r $S_2O_3^{--}$		0,07	0,05	
r SiO_3^{--}				
Total anions		5,05	5,28	2,67
silice en r SiO_3^{--}	2,2	2,2	2,9	2,9
Fe mg/l	+	+	+	+
Oligo-éléments	Mn, Cu, Li	I, B, P	I, B, P	Mn, Cu, Li
M.O. mg/l				
N° de l'analyse	1	2	3	4

Pl. 20



Variation de la Radioactivité en fonction de la température



Variation de la sulfuration en fonction de la température

d'après A. Lepape

ANALYSES DE BAGNERES-DE-LUCHON

	Pré 2 (1)	Bosquet (2)	Bosquet (1)	Bayen (2)
t.°C	50	44	43	64,5
pH				
R. ohms cm à 18 °C	2 060		2 130	
R.S. à 18 °C mg/l	274,8	323,7	323,7	326,8
Q m^3/s	$0,16.\ 10^{-3}$	$0,3.\ 10^{-3}$	$0,25.\ 10^{-3}$	$0,05.\ 10^{-3}$
Radio.act. mμci/l				
Gaz				
r Ca^{++}	0,65	0,41	0,41	0,22
r Mg^{++}	0,23	0,15	0,15	0,041
r Na^{+}	2,7	4,06	4,06	4,23
r K^{+}	0,17	0,12	0,12	0,1
Total cations	3,75	4,74	4,74	4,59
r Cl^{-}	1,07	1,3	1,33	1,5
r SO_4^{--}	1,1	0,53	0,53	0,19
r CO_3^{--}		1,2		0,88
r HCO_3^{-}	0,3	0,84	1,2	0,85
r S^{--}	+	1,5	+	1,95
r $S_2O_3^{--}$		0,02		0,04
r SiO_3^{--}				
Total anions	2,47	5,39	3,06	5,41
silice en r SiO_3^{--}	2,21	2,6	2,6	2,1
Fe mg/l	+	+	+	+
Oligo-éléments	Mn, Cu, I	I, B, P	Al., Mn, Cu	I, P, B
M. O. mg/l				
N° de l'analyse	5	6	7	8

ANALYSES DE BAGNERES-DE-LUCHON

	Bayen (6)	Richard Nouvelle 2)	Richard Nouvelle (1)	Richard Ancienne (1)	Grotte sup. (2)
t.°C	64	48	45,5	33	59
pH					
R. ohms. cm à 18 °C	2160		2030		
R.S. à 180 °C mg/l	350	289,7	289,7	300,5	326,7
Q. m^3/s		$0,2.10^{-3}$	$0,82.10^{-3}$	$0,025.10^{-3}$	$0,104.10^{-3}$
Radio-act. m μci/l					
Gaz	CO_2				
r Ca^{++}	50,2	0,7	0,7	1,03	0,38
r Mg^{++}	0,04	0,17	0,17	0,14	0,058
r Na^{++}	4,2	3,13	3,13	2,7	3,97
r K^{+}	0,1	0,14	0,14	0,18	0,13
Total cations	5,55	4,14	4,14	4,05	4,53
r Cl^{-}	1,54	1,09	1,09	0,96	1,4
r SO_4^{--}	0,18	0,8	0.8	1,7	0,78
r CO_3^{--}	0,81	0,94			1
r HCO_3^{-}	0,87	0,73	0,94	0,6	0,79
r S^{--}	1,98	1,24	+	+	1,25
r $S_2O_3^{--}$	0,038	0,07			0,04
r SiO_3^{--}	0,038				
Total anions	4,55	4,84	2,83	3,26	5,26
silice en r SiO_3	3	2,1	2,1	1,9	2,5
Fe mg/l		+	+	+	+
Oligo-éléments	B,P	I,B,P.	I, Cu, Mn	Mn, Cu, I	I, B, P
M.O. mg/l					
N° de l'analyse	9	10	11	12	13

PLAN DE GALERIE DE CAPTAGE

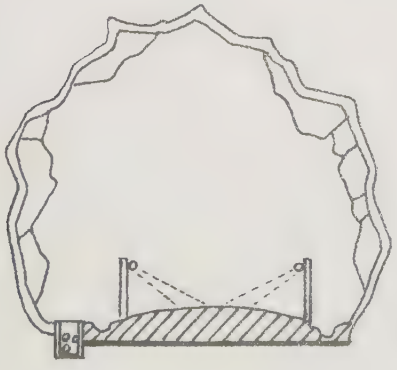
BAGNERES-DE-LUCHON

Pl. 21

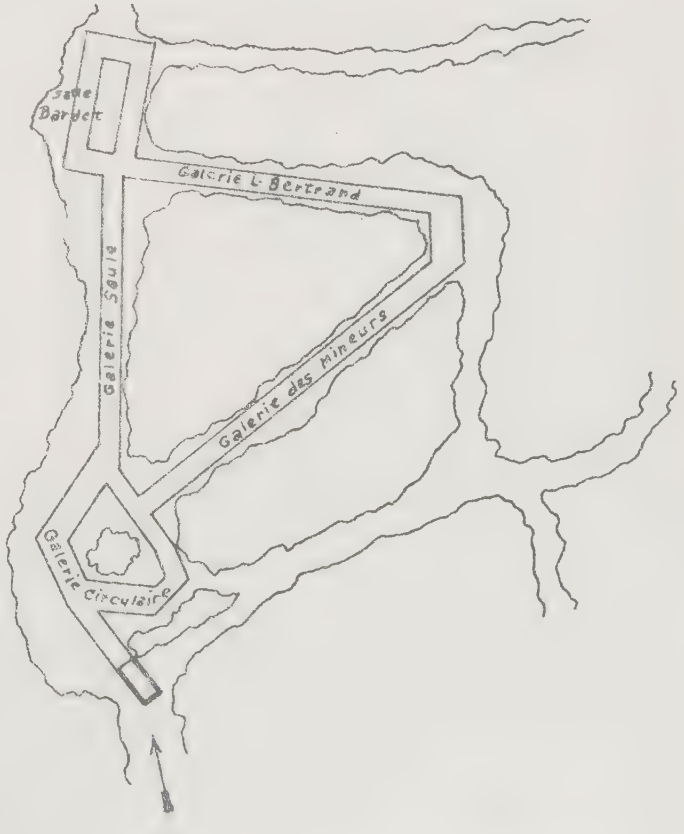
S N

Plan des galeries de captage

Référence : J. Oustrin



VAPORARIUM



Référence : Bulletin des thermes de Luchon

ANALYSES DE BAGNERES-DE LUCHON

	Grotte sup. (1)	Ferras Nouvelle (2)	Bordeu N° 1 (2)	Bordeu N° 2 (2)	Bordeu N° 3 (2)
t.°C	58	40	57,5	35	47
pH					
R.ohms.cm à 18 °C	2450				
R.S. à 180 °C mg/l	326,7	245	342,6	394	368
Q $m^3/s.$	$0,1.10^{-3}$	$0,102.10^{-3}$			
Radio-act. m μ ci/l					
Gaz					
r Ca^{++}	0,38	0,54	0,3	0,28	0,59
r Mg^{++}	0,058	0,058	0,058	trace	0,13
r Na^{+}	3,97	2,49	4,5	4,8	4,18
r K^{+}	0,13	0,12			0,14
Total cations	4,53	3,208	4,85	5,08	5,04
r Cl^{-}	1,4	0,8	1,5	1,6	1,5
r SO_4^{--}	0,48	1,04	0,53	1,59	1,19
r CO_3^{--}		0,64	0,8	1,27	0,59
r HCO_3^{-}	1	0,57			
r S^{--}	+	0,68	1,9	0,48	1,66
r $S_2O_3^{--}$		0,05			0,02
r SiO_3^{--}					
Total anions	2,86	3,78	4,73	4,94	4,96
silice en r SiO_3^{--}	2,5	1,8	3	3,12	3,08
Fe mg/l	+	+	+	+	+
Oligo-éléments	Mn, Cu, Li	I, P, B	I, P, B	Al, Cu, Li	Al, Cu,
M.O. mg/l					
N° de l'analyse	14	15	16	17	18

f - Hydrogéologie de Bagnères-de-Luchon

Les griffons des sources de Luchon se trouvent en contact de deux formations schisteuse et granitique du massif de Luchon à la base de la montagne de Superbagnères, à l'extrémité Ouest du massif. Pour recueillir les eaux thermales, on a creusé un réseau de galeries dans les éboulis et le contact des schistes et des granites. Sur l'une de ces galeries, on a rencontré le griffon de la source de Lepape, la plus radioactive de toutes les sources de Luchon (planche 21).

On peut diviser les sources de Luchon d'après leurs terrains d'émergences en deux groupes ; le groupe du Nord, hyperthermales, fortement sulfurées, issu des schistes, le groupe du Sud, tiède, moins sulfurées, de radioactivité beaucoup plus élevée, issu du massif granitique avec filons de quartz.

D'après la coupe sommaire de la région de Bagnères-de-Luchon (planche 14), cette région est constituée par des anticlinaux et synclinaux de terrains primaires. Au pont de Ravi, Sud de Luchon, on rencontre une source isolée sur la rive gauche de la Pique, située dans l'axe d'un synclinal, près d'un pointement granitique. Les sources de Luchon, d'après la même coupe, sont situées sur le versant Nord de l'anticlinal, dans l'indentation du granite au milieu des schistes siluriens de la montagne de Superbagnères. Cette structure facilite la résurgence artésienne des eaux froides issues des schistes et mélangé avec les eaux chaudes profondes provenant du granite à Luchon.

g - Conclusion

Les eaux de Luchon sont classées parmi les eaux sulfurées sodiques. Elles présentent une sulfuration élevée par rapport aux autres sources sulfurées sodiques des Pyrénées. Le pH alcalin est instable au contact de l'air.

Les observations faites sur les températures et ses variations saisonnières pour chacune des sources, ainsi que les variations relatives entre les températures maximales et minimales, rendent compte de l'interférence des

eaux profondes chaudes et de l'apport superficiel. La diminution de la température au mois de Décembre est due aux pluies d'automne, et la chute de neige de Janvier abaisse le coefficient d'infiltration d'où, augmentation de la température .

On peut déduire la même chose des mesures de la radioactivité, de la sulfuration, ainsi que des fluctuations de certains ions comme le Mg^{++}. On peut en gros distinguer :

1/ des eaux faiblement chargées en Mg, correspondant à des eaux chaudes (t°. > 50 °C.), r Mg^{++} = 0,004 à 0,005.

2/ des eaux plus fortement chargées correspondant à des eaux plus froides (t.< 50 °C.) ; 0,23 > r Mg^{++} > 0,13. (Voir ci-dessous).

N° de de l'analyse	Sources	t. °C	Mg^{++}	$\frac{S^{--} + S_2O_3^{--}}{SO_4^{--}}$	Δ t. °C
9	Bayen	64	0,04	11,2	
3	Pré N° 1	62	trace	7,9	2
13	Grotte supérieur	59	0,058	1,6	2
16	Bordeu N° 1	57	0,058	3,5	1
1	Reine	57	0,12	2,01	1,4
10	Richard Nouvelle	48	0,17	0,08	
18	Bordeu N° 3	47	0,13	1	2,5
6	Bosquet	44	0,15	2,8	2,5
-	Richard ancienne	41	0,14	0,5	
15	Ferras Nouvelle	40	0,05	0,7	4
-	Ferras ancienne	36	0,28	0,1	2,6
17	Bordeu N° 2	35	trace	0,3	1

Δ t = la température entre t° maxima (Juillet) et t° minima (Décembre)

La minéralisation de toutes les eaux est faible (300 à 400 mg/l en moyenne), la composition chimique des eaux reste relativement constante réserve faite de Mg^{++}. La silice y est abondante, et est due au lessivage des roches cristallines du massif de Luchon.

G - MASSIF DE CAUTERETS

CAUTERETS (Hautes-Pyrénées)

Longitude	:	7	'		Ouest de Greenwich
Latitude	:	42°	53 '	30 "	Nord
Altitude	:	932			mètres.

a - Situation géographique

Cauterets est une petite ville des Hautes-Pyrénées, située sur le Gave de Cauterets au pied d'un cirque de montagnes boisées.

Son altitude est de 932 mètres en ville et de 1 050 mètres à l'établissement de La Raillère qui est à 1 800 mètres en amont de la ville.

Le Gave de Cauterets coule dans une vallée dirigée du Sud au Nord ayant 700 mètres de largeur, perpendiculaire à la chaîne. En amont de Cauterets le Gave est constitué de deux rivières ; Gave de Latour et le Jéret, qui prennent naissance dans les montagnes au Sud.

b - Le climat

La température moyenne de l'été est de 12 °C à 6 heures du matin et de 19 °C à 14 heures (H. LAMARQUE).

Le climat est un climat d'altitude, doux, abrité des vents, sans humidité tellurique, rafraîchi par les Cours des Gaves et la végétation.

L'atmosphère d'une grande pureté, riche en rayons Ultra-violets, en ozone et en essences balsamiques (Société française d'Hydrologie).

Les pluies sont assez fréquentes, l'air y est assez humide et sédatif.

c - Situation géologique de Cauterets

Les griffons de Cauterets se trouvent en bordure du massif granitique de Cauterets qui s'étend de l'Est à l'Ouest sur une trentaine de kilomètres entre les vallées de Gavarnie et Gave d'Ossau. La largeur du massif de Cauterets varie de 6 à 10 kilomètres du Nord au Sud. La plus grande partie de ce massif se trouve sur le versant français des Pyrénées, une partie de moindre étendue, sur le versant espagnol dont dépend l'aire d'émergende de Panticosa. L'altitude du massif est de 1 000 mètres aux environs de Cauterets et de 3 146 mètres au pic du Balaïtcus.

Le massif de Cauterets est un des massifs granitiques ou gneissiques de la chaîne des Pyrénées, qui affleurent entre l'Océan Atlantique et la Méditerranée, dans les roches sédimentaires de la zone primaire axiale des Pyrénées. D'après URBAIN l'âge du massif est carbonifère.

Ce massif, au Nord, est en contact avec les schistes carbonifères (voir la carte géologique planche 23), dans lesquels apparaissent les griffons du groupe du Nord de Cauterets. Plus au Nord, les formations de Dévonien et Silurien constituent un pli synclinal faisant suite à l'anticlinal granitisé de Cauterets.

d - Propriétés physiques des eaux de Cauterets

Les eaux de Cauterets sont hyper et méso-thermales (voir tableau page suivante).

Elles sont limpides, onctueuses au toucher et ne blanchissent pas à l'air.

Le débit est de 23 . 10^{-3} m^3/s (2 000 000 litres par 24 heures). Les eaux sont issues de plusieurs griffons disséminés sur un parcours de 3 kilomètres ; elles sont utilisées dans sept établissements (tableau page suivante).

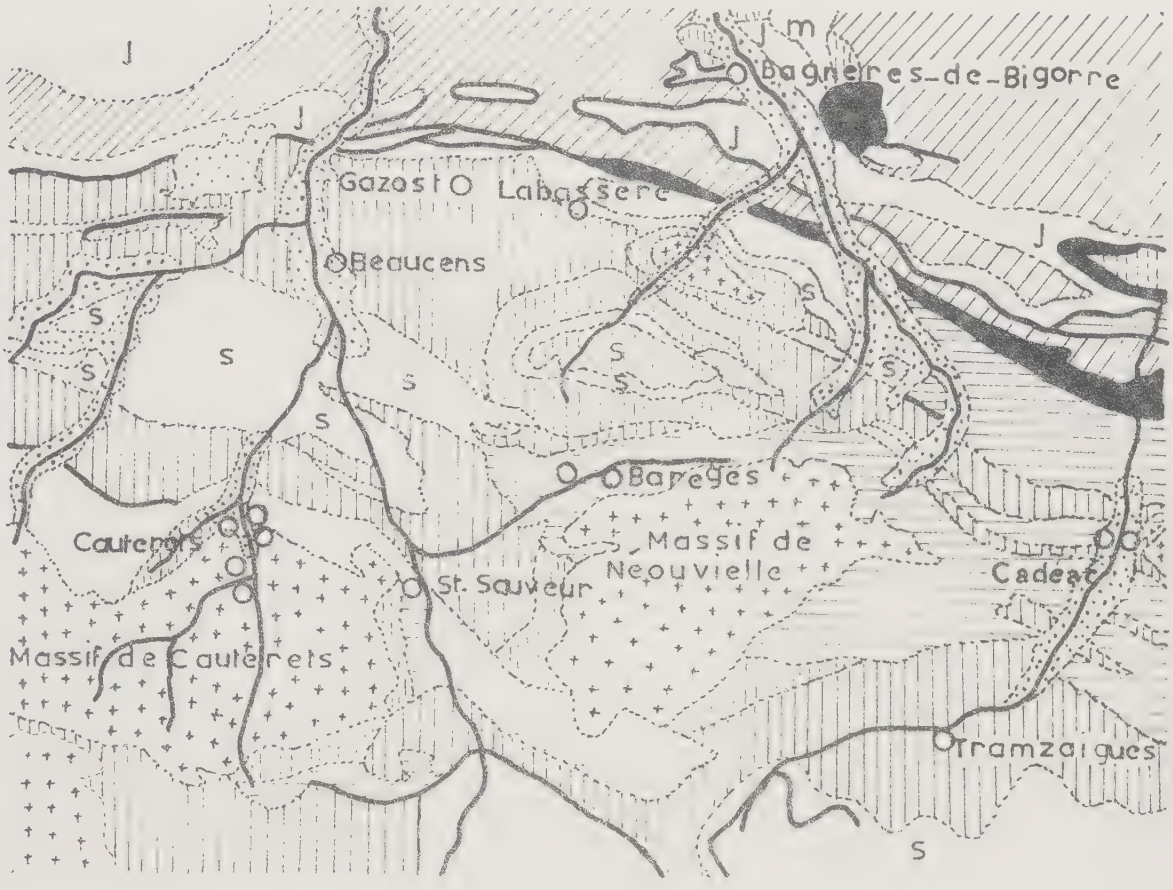
Les débits gazeux ont été déterminés par M M.A. LEPAPE et M. GESLIN ;

Sources	Débit Gazeux l/ min.
César B	0,016
Raillère A	0,013
Bois-Vieux	0,001
Pauze-Vieux	0,0014

La résistivité des eaux de Cauterets est très élevée, à cause de leur minéralisation faible (Voir tableau suivant, d'après M. GESLIN).

Sources autour des Massifs de CAUTERETS et NÉOUVIELLE

Pl. 23



- Granite Granulite
- Terrains métamorphisés au contact du granite
- S — Silurien
- Dévonien
- Carbonifère
- Permien et Trias
- J — Lias et Jurassique
- Crétacé nord Pyrénéen
- m — Miocène
- Crétacé sud Pyrénéen
- Alluvions
- Contacts anormaux
- O Aires Hydro-thermales

Référence: P. Urbain

CAUTERETS (Haute-Pyrénées)

Dates 1953	Sources	tempé-rature	pH	Résistivité ohms.cm à 18°C
5 Sept.	Bois Vieux A (réservoir)	31°7	7,8	3 900
3 Sept.	Bois Vieux C (réservoir)	21°3	8,4	3 900
4 Sept.	Mauhourat (buvette)	49°5	8,4	4 000
17 Oct.	Oeufs (regard entre Mauhourat et Pré)	51°7	8,4	4 300
17 Oct.	Petit St-Sauveur (à 3 m du griffon)	34°4	8,4	4 200
17 Oct.	Pré (arrivée droite près du gave du jérêt)	50°5	8,4	4 100
17 Oct.	Pré (arrivée au bassin carré)	49°5	8,4	4 050
17 Oct.	Pré (ancien établissement)	44°3	8,4	4 550
28 Sept.	Les Griffons pré (buvette)	40°9	8,4	4 200
28 Sept.	Les Griffons Petit St-Sauveur (buvette)	27°1	8,4	4 100
28 Sept.	Les Griffons oeuf (buvette)	47°4	8,4	4 100
28 Sept.	Les Griffons Mauhourat (buvette)	36°7	8,4	3 950
7 Sept.	La Raillère (griffon)	38°9	8,4	4 000
7 Sept.	La Raillère (Griffon tempéré)	37°8		
4 Sept.	La Raillère (buvette)	38°8	8,4	4 000
29 Sept.	Oeuf (piscine du casino arrivée centrale	29°3	8,4	4 900
4 Sept.	César	45°4		
Sept.	César (buvette Thermes)	43°3	8,4	3 300
8 Sept.	César (buvette Néothermes)			
9 Oct.	César (réservoir)	32°5		
4 Sept.	Pauze Vieux	40°8		
4 Sept.	Pauze Vieux (buvette)	40°2		
4 Sept.	Espagnols	45°8	8,4	3 500
8 Sept.	Espagnols (buvette Thermes)	43°0	8,4	3 300
8 Sept.	Rocher (buvette Néothermes	34°0	8,4	3 400

e - Propriétés chimiques des eaux de Cauterets

Le pH des eaux de Cauterets a été déterminé par M. GESLIN (Voir le tableau précédent).

Les sulfurations des sources de Cauterets sont les suivantes :

Sources	Sulfuration mg/l	Auteurs
César	24,3	Willm
Espagnols	21,9	Willm
La Raillère	20,5	Willm
Pauze-Vieux	13	Duhourcau
Rocher	14,6	Duhourcau
Rieumazet	24,6	Descloizeau
Pré	12,8	Duhourcau
Bois	10,5	Duhourcau
Oeufs	14,9	Duhourcau
Mauhourat	10,5	Duhourcau
Petit Saint	22,1	Willm

Les autres ions importants sont : Cl^-, SiO_3^{--}, SO_4^{--}, de plus on a trouvé des traces d'I, de Br, de B, de P, de Fe, de NH_3, de As, de Tn (petit St-Sauveur), de Ni (Raillère).

Les gaz spontanés et la radio-activité des sources ont été dosés par MM. A. LEPAPE et M. GESLIN ;

Sources	Température		Radon en 10^{-9} curies par litre à l'émergence		
			Gaz		Eaux
	1912	1924	1912	1924	1924
César griffons A et B	47°8	45°6	3,50	3,54	0,395
César Néothermes		41°9-42°5			0,113
César Thermes		42°8-44°2			0,038
Raillère, griffon A		38°8	3,80	4,48	0,615
Raillère Thermes		38°3			0,662
Raillère Tempérée D		38°			1,22
Mauhourat, inférieure		51°9			0,313
Mauhourat, supérieure		50°1			0,235
Mauhourat Buvette inférieure		45°2			0,084
Pré griffon B		49°			0,232
Pré réunies A		48°2			0,173
Oeufs, griffon inférieur	55°8	51°7	1,71		0,203
Oeufs Thermes		41°7			0,062
Bois-Vieux, A		47°		5,30	0,358
Bois-Vieux, B		46°2	4,2		0,48
Pauze Vieux		44		2,98	0,357
Pauze tiède		27°5			0,271
Espagnols A		43°5			0,473
Rocher		40°8			0,226
Rieumizet		13°3			0,54

	Composition centésimale moyenne, en volumes du gaz brut sec						Radon (en 10^{-9} curies) par litre de gaz
	CO_2	O_2	Gaz combustibles	N_2	Argon trace de Ksypton et Xénon	Hélium + Néon	
César	0,02	néant	néant	98,44	1,328	0,216	3,54
Raillère	traces	néant	néant	98,79	1,131	0,084	4,48
Mauhourat	néant	néant	n.rech	98,47	1,49	0,04	n. dosé
Les Oeufs	0,6	traces	n. rech	97,76	1,58	0,059	1,71
Bois-Vieux	1,43	$<0,02$	faibl tr.	97,08	1,415	0,066	5,30
Pauze-Vieux	0,27	14,5	néant	83,97	1,222	0,034	2,98
Espagnols	1,50	0,13	néant	97,00	1,352	0,015	n. dosé

Les matières organiques, barégine et glairine y sont abondantes, surtout dans certaines sources comme : Pauze-Vieux et Rocher. La composition chimique de glairine d'après Filhol et Reveil est la suivante ;

g/100 g	
73,14	Matières organiques
15,38	silice
4,86	Chaux
5,34	soufre
1,28	fer

ANALYSES DE CAUTERETS

	César (2)	César (1)	César (9)	César (6)	Espagnols (1)	Espagnols (2)	Le Pré (1)	Le Pré (9)
t.°C.	47	47,5	45,6	50	47,6	46	49,6	48,1
pH			9,4					9,4
R. ohms.cm à 18 °C.		3680	3680		3700		4400	4355
R.S. à 180 °C. mg/l	254,1	254,7	254,7	250	239,3	239,3	204,3	204,5
Q $m^3/s.$		$2,5.10^{-3}$			$0,13.10^{-3}$		$2,1.10^{-3}$	
Radio-act. m µci/l		0,395			0,473		0,232	
Gaz	CO_2	CO_2, N	CO_2	-		CO_2	CO_2,N	CO_2
r Ca^{++}	0,22	0,26	0,26		0,22	0,23	0,21	0,26
r Mg^{++}	0,04	0,016	0,016		0,04	0,04	0,016	0,016
r Na^{+}	2,72	2,68	2,68	2,55	2,68	2,69	2,02	2,02
r K^{+}	0,07	0,058	0,058	0,07	0,07	0,07	0,043	0,043
Total cations	3,05	3,014	3,014	2,62	3,01	3,03	2,28	2,339
r Cl^{-}	1,1	1,15	1,15	1,03	1,08	1,08	0,7	0,76
r SO_4^{--}	0,46	0,35	0,35	0,49	0,52	0,52	0,35	0,35
r CO_3^{--}								
r HCO_3^{-}								
r S^{--}	0,62	+	0,4	0,51	+	0,56	+	0,27
r $S_2O_3^{--}$	0,15		0,15	0,13		0,2		0,013
r SiO_3^{--}	0,72		0,88	0,46		0,67		0,75
Total anions	3,05	1,5	2,93	2,62	1,6	3,03	1,05	2,14
silice en r SiO_3^{--}	1,51	2,21	1,3	1,5	2,29	1,58	2,09	1,3
Fe, mg/l	trace	+	+		+	trace	+	0,23
Oligo-éléments	I,B,P	Li,Mn		Br,B,	Li,As,I,	I,B,P	Li,F,Mn	Br,F
M.O. mg/l	29,2		1			12		1
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7	8

ANALYSES DE CAUTERETS

	Mauhourat (1)	Mauhourat (9)	Raillère (1)	Raillère (9)	Raillère (4)	Raillère (7)	Raillère (2)
t.°C.	50	49,35	38,5	37,8	38,8		39
pH		9,4		9,4			
R. ohms. cm à 18 °C.	4480	4310	4400	4440			
R.S. à 180 °C mg/l	225,8	225,8	219,6	219,6		182,7	226,7
Q m^3/s	$1,1.10^{-3}$		$0,5.10^{-3}$		$0,6.10^{-3}$		
Radio-act. m μci/l	0,313		0,619				
Gaz	CO_2, N	CO_2	CO_2, N	CO_2	N		CO_2
r Ca^{++}	0,22	0,22	0,21	0,21	0,16	0,16	0,28
r Mg^{++}	0,005	0,005	0,008	0,008	0,022		0,05
r Na^{+}	2,26	2,26	2,23	2,23	2,05	2,05	2,29
r K^{+}	0,046	0,046	0,053	0,053			0,065
Total cations	2,531	2,531	2,5	2,5			2,68
r Cl^{-}	0,9	0,9	0,83	0,83	0,85	0,85	0,8
r SO_4^{--}	0,23	0,23	0,45	0,45	0,62	0,62	0,53
r CO_3^{--}							
r HCO_3^{-}							
r S^{--}	+	0,28	+	0,35	0,5	0,5	0,52
r $S_2O_3^{--}$		0,205		0,087			0,11
r SiO_3^{--}		0,83		0,72			0,72
Total anions		2,445	1,28	2,43			2,68
Silice en r SiO_3^{--}	2,31	1,4	2,25	1,5	2	2,2	1,38
Fe mg/l	+	0,17	+	0,1			+
Oligo-éléments	Li, Mn	Mn,F,Br	Li, Mn	Mn, F,Br			I, B, P
M.O. mg/l		2,7		2,1			2,4
N° de l'analyse	9	10	11	12	13	14	15

f - Hydrogéologie de Cauterets

Les sources de Cauterets qui sont dans la vallée du Gave de Cauterets forment deux groupes naturels : le groupe du Nord dans le schiste, et le groupe du Sud dans le granite, en amont de la surface du contact de deux formations, au confluent des Gaves de Jéret et de Latour. Une distance de 1 200 mètres à 1 500 mètres sépare les deux groupes.

Les schistes en contact du granite sont métamorphisés, ils possèdent une rigidité qu'ils n'ont pas dans les conditions ordinaires. D'après URBAIN, l'opposition des griffons du Nord dépend d'un réseau de diaclases, dont les principales se trouvent dans les galeries de la source de César.

En amont de la ville (600 à 700 mètres) le contact du granite et des schistes est visible sur la rive droite du Gave, sur l'autre versant de la vallée, au-dessus de l'établissement de la Raillère, on peut voir aussi ce contact. De la terrasse de l'établissement des Griffons dans le groupe Sud, on peut voir une longue fracture avec prolongement dirigé vers le Nord-Est sur plusieurs centaines de mètres, dont la partie inférieure disparaît derrière le cône de déjection du torrent de la Raillère.

Quant à l'origine vadose ou juvénile des eaux de Cauterets, l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie, a fait des expériences sur l'eau du lac de Labas, dans les montagnes près de Cauterets. On a injecté I 131 dans le lac de Labas qui se trouve au contact du granite et du schiste à 21 kilomètres des Griffons de Cauterets. Les mesures faites sur les prélèvements après 45 jours, n'ont pas montré de relation entre les eaux du lac et les sources de Cauterets.

1/ Les Griffons du Nord

Source CESAR - C'est une source remarquable par son débit. Une galerie faite par l'ingénieur François suit le filet d'eau thermale du Griffon apparent jusqu'à la surface du schiste ayant un pendage vers l'Ouest. La galerie s'infléchit en suivant la surface du schiste dans la direction Sud-Nord.

Les griffons véritables se trouvent près d'une veine de Calcaire grisâtre dans les schistes.

Sources Pauze, les Espagnols et Rocher sont aussi captées dans le groupe Nord.

2/ Les Griffons du Sud

Source de Raillère - l'Etablissement de Raillère dont les griffons sont captés dans l'établissement, est situé au pied du Pic de Péguère, qui était le siège de fréquentes avalanches de blocs granitiques arrachés par l'érosion aux parties les plus élevées du Pic de Péguère. L'administration des Eaux et Forêts a exécuté les travaux de reboisement et soutènement pour mettre l'Etablissement et les Griffons à l'abri d'une destruction possible par les éboulis et les blocs granitiques. La source de la Raillère possède un griffon principal et un griffon tempéré qui sont captés au milieu des blocs granitiques (planche 22).

Source du Bois - Les griffons de cette source sont captés au fond de trois galeries dans les alluvions enrobant les blocs granitiques éboulés. L'altitude de cette station est de 1 147 mètres, c'est la plus élevée de toutes les stations de Cauterets.

Source de Pré - Elle est située sur la rive droite du Gave de Jérêt dans les roches granitiques. Pour protéger les griffons de Pré des crues de Jérêt, on a masqué le griffon principal par un massif de béton.

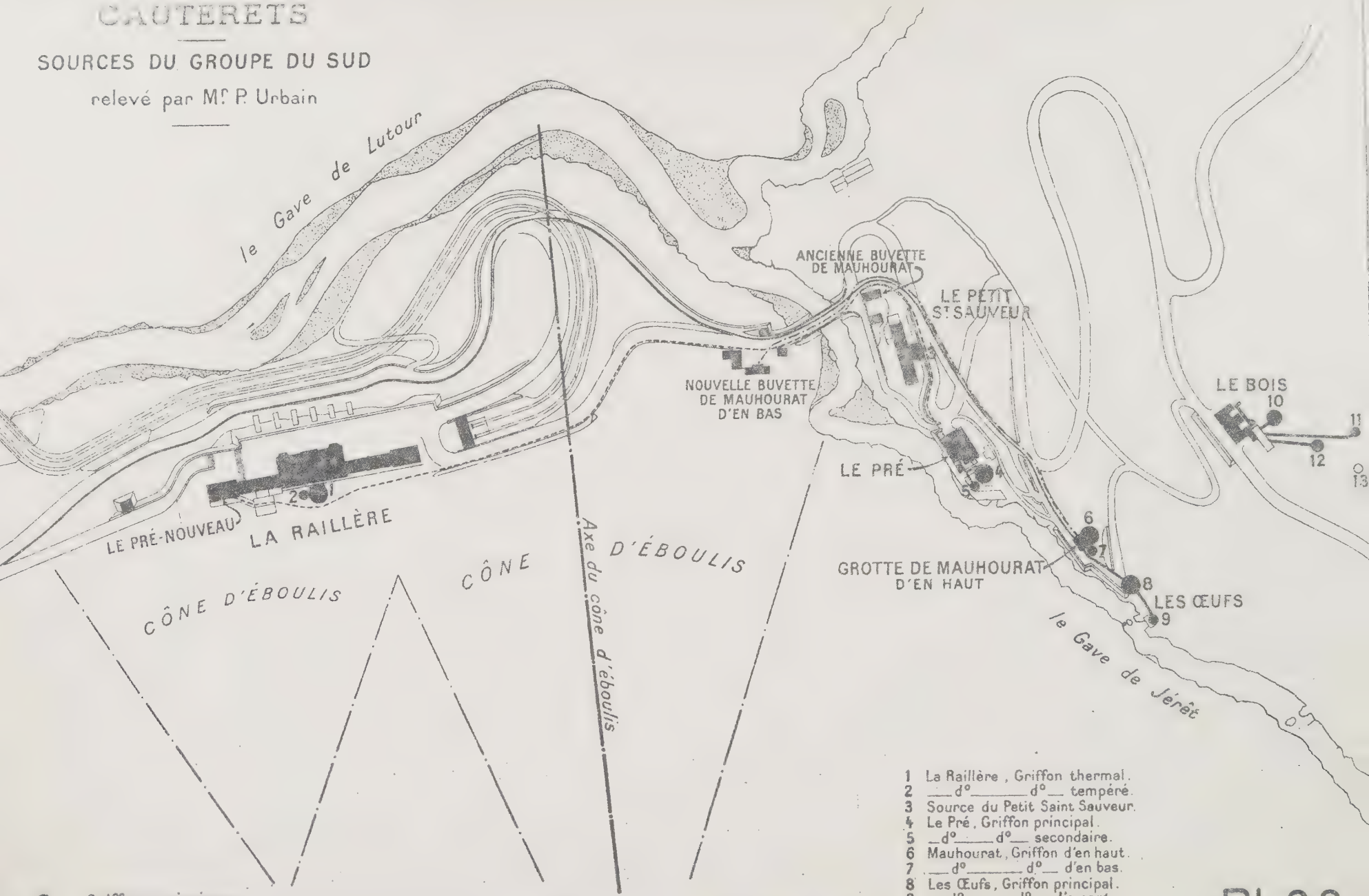
Source de Mauhourat - Cette source possède deux griffons à deux niveaux différents ; le griffon supérieur est situé dans une diaclase de granite, dirigée vers la buvette de la grotte sur la rive droite du Jérêt, le griffon inférieur est aussi capté dans le granite près de la route.

Source des Oeufs - Elle se trouve sur la rive droite du Jérêt, dans la roche granitique compacte et possède deux griffons ; un griffon supérieur et un griffon principal à une trentaine de mètres en aval du griffon supérieur.

CAUTERETS

SOURCES DU GROUPE DU SUD

relevé par Mr P. Urbain



- Griffons principaux.
- ___d°___ secondaires.
- Canalisation des Œufs.
- ___d°___ du Pré.
- ___d°___ de Mauhourat d'en Bas.

1 La Raillère, Griffon thermal.
2 ___d°___d°___ tempéré.
3 Source du Petit Saint Sauveur.
4 Le Pré, Griffon principal.
5 ___d°___d°___ secondaire.
6 Mauhourat, Griffon d'en haut.
7 ___d°___d°___ d'en bas.
8 Les Œufs, Griffon principal.
9 ___d°___d°___ d'amont.
10 Le Bois, Griffon A
11 ___d°___d°___ B
12 ___d°___d°___ C
13 ___d°___ Source froide.

Pl. 22

g - Conclusion

Les eaux thermo-minérales de Cauterets sont classées parmi les eaux sulfurées sodiques à une faible minéralisation. La composition chimique des eaux des différents griffons d'après les graphiques semi-log reste relativement constante : pH alcalin, dégagement des gaz, surtout de l'azote. Le résidu sec s'échelonne entre 200 à 250 mg/litre.

Les diagrammes montrent pour ces eaux une composition typique des eaux de roches cristallines ; granite et schistes.

L'origine des eaux, à cause de leurs caractères physico-chimiques et la structure géologique de la région doit être attribué à une forte profondeur.

H - MASSIF DES EAUX-CHAUDES

LES EAUX CHAUDES (Basses-Pyrénées)

Longitude	:	0° 29'	Ouest de Greenwich
Latitude	:	42° 57'	Nord
Altitude	:	675	Mètres

a - Situation Géographique

La station thermale des Eaux-chaudes est située dans la vallée du Gave d'Ossau, à 6 kilomètres de Laruns, au voisinage immédiat de la partie la plus élevée de la Chaîne des Pyrénées. Le village est construit sur la rive droite du Gave d'Ossau, à 20 kilomètres de la frontière d'Espagne.

Le climat est doux, sans variations brusques. La température estivale du jour est de 18° en moyenne, peu de variations étendues. Une brise habituelle Nord-Sud assure une ventilation et une fraîcheur constante de l'air.

b - Propriétés physiques des eaux des Eaux-Chaudes

La température des eaux s'échelonne entre 10°,6 (Minvieille et 36°,2 (Le clot).

Les eaux sont limpides, incolores, douces au toucher. Leur odeur légèrement sulfurée, leur saveur laisse un arrière goût alcalin. Le débit total est de $1,5.10^{-3}$ m^3/s.

La radio-activité des Eaux-chaudes a été mesurée par Moureu à 0,066 à l'émergence (en milligrammes minutes d'émanation de radium).

c - Propriétés chimiques des eaux

Nous avons mesuré sur place la température, le pH et la résistivité des eaux ; les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Sources	t.°C de l'eau	t.°C ambiante	pH	R.à 18 °C ohms . cm	Q m^3/s. (1)	Lieux de prélèvement	Captage
Rey	31,2	22	6,5	2400	$0,65.10^{-3}$	robinet	P. 3 m
Clot	26	20	7,6	2500	$0,45.10^{-3}$	robinet	P. 1,6 m
Esquirette	33	24	7,5	2540	$0,45.10^{-3}$	robinet	P. 3,1 m
Baudot	25	20	7,5	2670	$0,09.10^{-3}$	griffon	P.
Laressec	28	23	7,6	2600		griffon	B.
Minvieille	10	18	7,3	3080	$0,11.10^{-3}$	griffon	B.

(1) Ann. des Mines

La sulfuration des eaux n'est pas élevée par rapport aux autres eaux sulfurées sodiques de la chaîne des Pyrénées (r S^{--} moyen = 0,20 méq/l contre 1 méq/l), mais le Cl^- et SO_4^{--} y sont plus élevés (voir les analyses page suivante). La concentration en Cl^- atteint à 2,4 meq/l (près de 25 % du poids de résidu sec).

Comme matières organiques, elles renferment une notable quantité de Barégine aux griffons et dans les bassins des eaux.

ANALYSES DES EAUX-CHAUDES

	Le Clot (1)	Le Clot (2)	Esquirette chaude (1)	Esquirette chaude (2)	Le Rey (1)
t.°C.	29,5	36,25	32	35	21,5
pH					
R. ohms. cm à 18°	2041		1884		2198
R.S. à 180 °C mg/l	334,2	318	403,5	323,6	392,5
Q $m^3/s.$	$0,45.10^{-3}$		$0,45.10^{-3}$		$0,65.10^{-3}$
Radio-act. m µci/l					
Gaz		CO_2		CO_2	
r Ca^{++}	0,96	1,04	1,01	1,052	0,96
r Mg^{++}	0,05		0,02	0,02	0,058
r Na^{+}	2,8	3,02	2,79	3,89	2,65
r K^{+}	0,19	0,1	0,16	0,097	0,14
Total cations	3,95	4,16	3,98	5,05	3,8
r Cl^{-}	1,5	1,5	1,5	1,51	1,5
r SO_4^{--}	1,98	2,01	2,05	2,02	1,99
r CO_3^{--}		0,02		0,022	
r HCO_3^{-}	0,43		0,88		0,88
r S^{--}	+	0,23	+	0,22	+
r $S_2O_3^{--}$		0,1		0,97	
r SiO_3^{--}		0,3		0,31	
Total anions	3,91	4,16	4,43	5,059	4,37
Silice en r SiO_3^{--}	2,3	1,3	4,3	1,6	4,2
Fe mg/l	+	+	+	+	+
Oligo-éléments		Li, I, As	Al, Mn,	Li, I, As	Al, Mn
M.O. mg/l		1,6		4,7	
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

ANALYSES DES EAUX-CHAUDES

	Le Rey (2)	Baudot (1)	Baudot (2)	Larressec (2)	Minvielle (2)
t. °C.	33,5	24,5	25,5	24,3	10,6
pH					
R.ohms. cm à 18°		1962			
R.S. à 180° mg/l	318,8	395,3	323	312	251,9
Q $m^3/s.$		$0,09.10^{-3}$			
Radio-act. m μci/l					
Gaz	CO_2		CO_2	CO_2	CO_2
r Ca^{++}	1,05	0,91	0,914	0,96	0,8
r Mg^{++}		0,05	0,02		0,01
r Na^{+}	3,79	2,51	3,11	2,92	2,24
r K^{+}	0,9	0,13	0,1	0,1	0,08
Total cations	5,74	3,6	4,153	3,98	3,13
r Cl^{-}	2,4	1,5	1,52	1,5	1,19
r SO_4^{--}	1,95	1,98	1,98	1,87	1,3
r CO_3^{--}	0,022		0,034	0,016	trace
r HCO_3^{-}		0,91			
r S^{--}	0,22	+	0,24	0,2	0,12
r $S_2O_3^{--}$	0,89		0,08	0,08	0,02
r SiO_3^{--}	0,26		0,29	0,32	0,15
Total anions	5,74	4,39	4,153	3,98	3,13
Silice en r SiO_3^{--}	1,6	4,4	1,6	1,7	1,1
Fe mg/l	+	+	+	+	+
Oligo-éléments	Li, I, As	Al, Mn	Li, I, As	Li, I, As	Li, I, As
M.O. mg/l	4,5		6,3	1,6	7,8
N° de l'analyse	6	7	8	9	10

d - Hydrogéologie des Eaux-Chaudes

Aux Eaux-Chaudes, qui se trouvent dans une vallée étroite du Gave d'Ossau, on peut voir le contact célèbre, dit des Eaux-Chaudes. Ce contact montre précisément le chevauchement des calcaires crétacés sur les formations primaires. A quelques dizaines de mètres en aval de la station, sur la rive droite du Gave d'Ossau, les calcaires sont visibles ; en amont du village le granite affleure sur les deux rives de la rivière. Les griffons principaux sont captés au pied des calcaires secondaires très redressés à l'Est de l'Etablissement Thermal au voisinage du granite. (Carte géologique des Eaux-Chaudes et des Eaux Bonnes, planche 24).

Les griffons des sources Baudot, Laressec sont au fond de la vallée, près de la rivière. Ces eaux sont issues directement des diaclases du granite. La source de Minveille est au Sud du village dans le Bois d'Haouquère en plein granite.

La coupe faite par Y. TERNET (planche 25), montre le chevauchement du calcaire sur le granite des Eaux-Chaudes, et l'émergence des sources de cette région au point de jonction du calcaire et du granite.

e - Conclusion

Les eaux des Eaux-Chaudes sont méso et hypothermales. La silice y est abondante, due au lessivage des roches cristallines. Leur minéralisation totale ne dépasse pas 400 mg/l. Ces eaux présentent une légère alcalinité. Bien que ces eaux aient été classées comme eaux sulfurées sodiques, on remarque la prédominance relative des ions Cl^- et SO_4^{--}, dont l'origine peut être recherchée dans les formations du Trias, au-dessous du Crétacé de cette région qui forme au Sud des Eaux-Chaudes les hauteurs du Pic de Gers (2 612 mètres).

En ce qui concerne l'origine de ces eaux, les divers auteurs leur ont attribué une origine profonde granitique, bien que certains éléments soient empruntés au Trias. Les variations de température ne sont généralement pas

accompagnées de grandes différences dans la composition chimique, sauf dans le cas de la Source Minvieille, où on peut remarquer une plus grande dilution. Un mélange avec les eaux superficielles circulant dans la zone d'hétérothermie est alors probable. Pour les autres (Baudot, Larressec) il s'agirait d'un simple refroidissement de l'eau thermale au contact des roches encaissantes.

II/ SOURCES SITUEES DANS LES SCHISTES

A - VALLEE DU TECH

1/ SOREDE, LAROQUE (Pyrénées-Orientales)

Coordonnées	Sorède	Laroque
Longitude	2° 58'	2° 56' Est de Greenwich
Latitude	42° 31' 20"	42° 31' Nord
Altitude	env. 80	env.80 mètres

Les deux sources sont situées dans le fond de deux vallées parallèles à 10 kilomètres de Méditerranée et à 7 kilomètres à l'Ouest d'Argeles. La source de Sorède émerge dans le lit de la rivière à 500 mètres en amont du village, avant les premiers contreforts des Albères dans les schistes primaires. Elle est froide, sans odeur, de couleur jaune-rouge (oxydes de Fer). Le débit de la source est environ $0,1.10^{-3}$ m^3/s. La silice y est abondante (3 méq/l). Il s'échappe des bulles de gaz. D'après le graphique, elle est carbonatée calcique et ferrugineuse.

CARTE GÉOLOGIQUEDES

EAUX-BONNES et EAUX-CHAUDES

Pl. 24

Glaciares des moraines externes

Dépôt glaciaire pliestocène

Calcaire à hypurite Crétacé

Calcaire à polypier Dévonien

Schist et Calcaire Dévonien

Granit amphibolique

Faille

Limite géologique

Faille masquée

Station thermale

0 1 km 2

Référence Carte géologique 1/80000

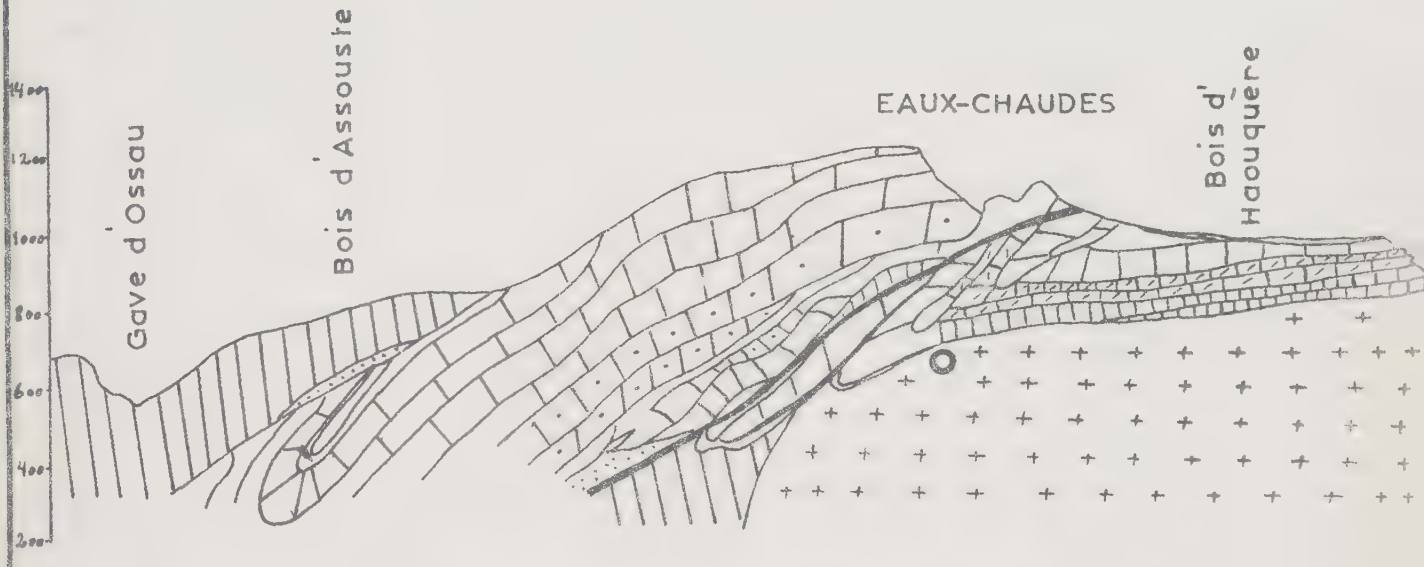
Pl. 25

COUPE GÉOLOGIQUE DE LA REGION

DES

EAUX-CHAUDES

N S



Eboulis alluvions

Calcaire Santonien Crétacé sup.

Calcaire détritique Santonien

Calcaire dolomitique Coniacien (Crétacé sup)

Calcaire massif Turonien Crétacé sup

Paléozoique

Granite

Sources

d'après: Y. Ternet

Quant à Laroque, situé à 2 kilomètres vers l'Ouest de Sorède (planche 3), les eaux sont froides, incolores, gazeuses (goût piquant), le pH est de 5,9 (par la méthode colorimétrique) et la résistivité de l'eau est de 2560 ohms. cm à 18 °C. Le débit est environ 0,2. 10^{-3} m^3/s. La silice y est abondante (2,2 méq/l). Elles sont bicarbonatéss calciques ferrugineuses. Le terrain à l'émergence est constitué par le schiste primaire du Nord du massif des Albères.

ANALYSES DE SOREDE ET LAROQUE

	Sorède (5)	Laroque (2)
t.°C	20,9	15,6
pH		
R. ohms. cm à 18 °C.		
R.S. à 180 °C . mg/l	967	363
Q m^3/s		
Radio-act. m μ ci/l		
Gaz		
r Ca^{++}	12,1	2,72
r Mg^{++}	1,4	1,35
r Na^{+}	1,73	0,92
r K^{+}		
Total cations	15,23	4,99
r Cl^{-}	0,37	0,34
r SO_4^{--}	0,36	0,43
r CO_3^{--}		
r HCO_3^{-}	7,68	2,19
r S^{--}		
r $S_2O_3^{--}$		
r SiO_3^{--}		
Total anions	8,41	2,96
Silice en r $SiO_3^{=}$	3,3	2, 2
Fe mg/l		
Oligo-éléments		
M.O. mg/l	21	3
N° de l'analyse	1	1

2/ LE BOULOU (Pyrénées Orientales)

Longitude : 2° 50' Est de Greenwich
Latitude : 42° 30' 20" Nord
Altitude : 84 mètres.

a - Situation géographique et climat

La station de Boulou est située à 1,5 kilomètres du village de ce nom, sur la rive gauche du Tech à 7 kilomètres de la frontière d'Espagne.

Le climat y est doux. La température d'hiver est 7,1°C, printemps 13 °C, été 21,9 °C, automne 15,5 °C, année 14,4 °C. (O. MENGEL). La station est abritée par le Pic d'Estelle (317 m) du vent.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des eaux s'échelonne entre 15,7 à 17,5 °C. Nous avons déterminé la température, et le pH des eaux sur place, par la méthode colorimétrique.

Sources	t.°C de l'eau	t.°C de l'ambiante	pH	Ql/m (1)	R.ohms. cm à 18°	R.S. mg/l à 18 °C (1)	Captage
Le Boulou	16	23	6,4	1,15	250	4802	P. 6 m.
Clémentine	15,7			1	190	6122	P. 3 m.
Colette	15,6	22	6,5	8	240	3580	P.G.
Janette	16,2	22	6,5	15	191	4406,9	F. 55 m.
Molas 2	17			0,26		1392	

(1)

Les eaux sont limpides à l'émergence. Elles dégagent spontanément de nombreuses bulles de gaz, et déposent un sédiment jaunâtre (oxydes de fer). Elles sont piquantes (acide carbonique libre, leur saveur est métallique, de par leur richesse en Fer (13,2 mg/l pour la Source Clémentine).

ANALYSES DES EAUX DE BOULOU

	Boulou (1)	Boulou (2)	Clémentine (1)	Clémentine (3)
t.°C	16	17,5	15,7	
pH				
R. ohms. cm à 18 °C	250		190	
R.S. à 180 °C mg/l	4802	4802	6122	
Q $m^3/s.$	$0,02.10^{-3}$	$0,2.10^{-3}$	$0,016.10^{-3}$	$0,06.10^{-3}$
Radio-act. m μ ci/l				
Gaz	CO_2		CO_2	
r Ca^{++}	19,73	19,73	12,06	12
r Mg^{++}	12,03	11,95	10,7	10,6
r Na^{+}	56,3	56,29	86,7	87
r K^{+}	1,61	1,61	3,57	3,6
Total cations	89,67	89,58	113,03	113,2
r Cl^{-}	15,1	15,1	19,7	19,7
r SO_4^{--}	0,06	0,06	0,085	0,088
r CO_3^{--}				
r HCO_3^{-}	68	54	90,8	94
r S^{--}				
r $S_2O_3^{--}$				
r SiO_3^{--}				
Total anions	83,16	69,16	110,58	113,78
silice en r SiO_3^{--}	2,64	2,6	2,27	
Fe mg/l		+		13,2
Oligo-éléments		I, B, As		Li
M.O. mg/l				
N° de l'analyse	1	2	3	4

ANALYSES DES EAUX DE BOULOU

	Clémentine (2)	Janette (1)	Colette (1)	St-Martin (4)
t. °C.	16,5	16,2	15,8	16,2
pH				
R. ohms. cm à 18 °C.		191	240	
R.S. à 180 °C mg/l.	6122	4406	3580	
Q $m^3/s.$	$0,05.10^{-3}$	$0,25.10^{-3}$	$0,13.10^{-3}$	
Radio-act m µci/l				
Gaz		CO_2	CO_2	CO_2
r Ca^{++}	12,06	17,59	18,5	8,95
r Mg^{++}	10,6	11,93	10,5	3,8
r Na^{+}	86,7	55,5	36,2	58,4
r K^{+}	2,8	1,59	2,7	
Total cations	112,2	86,6	67,9	71,17
r Cl^{-}	19,7	10,8	6,3	5,55
r SO_4^{--}	0,085	0,1	0,14	0,27
r CO_3^{--}				
r HCO_3^{-}	68	69,4	60,1	33,1
r S^{--}				
r $S_2O_3^{--}$				
r SiO_3^{--}				
Total anions	87,78	80,3	66,54	38,93
Silice en r SiO_3^{--}	2,27	2,4	2,4	3,5
Fe mg/l	+	+	+	*
Oligo-éléments	I, B, As	Al, B, Cu	As, Al, Li	
M.O. mg/l	trace			22
N° de l'analyse	5	6	7	8

c - Hydrogéologie de Boulou

Les sources de Boulou se trouvent au pied de Pic d'Estella. Elles émergent du schiste. Les deux sources de Colette et Janette sont captées dans les gneiss granitiques (Colette ; galerie et puit, Janette ; forage de 55 mètres). D'après la carte géologique de cette région, les schistes affleurent au Nord du massif cristalin. Les sources qui émergent dans le Parc des Thermes sont issues du schiste qui recouvre le granite sous jacent (planche 3). La source de Boulou est captée au voisinage d'une faille visible.

La composition chimique montre des eaux très chargées (6 100 mg/l résidu sec), de pH légèrement, acide (dégagement de CO_2 libre), riches en $H\,CO_3^-$ et Na^+. Les teneurs en ions alcalino-terreux sont également très élevées (19 méq/l Ca^{++}, 12 méq/l Mg^+). Les ions Cl^- varient de 5 à 20 méq/l, au contraire les ions SO_4 ont de très faibles teneurs . Les deux sources de Colette et Janette sont riches en Fr.

Ce sont des eaux hypothermales. Elles sont classées comme bicarbonatées chlorurées sodiques gazeuses.

La raison de leur facis particulier et notamment de leur richesse en CO_2, on a mis en relation l'origine de ces eaux avec l'activité volcanique de la région.

3/ AMELIE-LES-BAINS (Pyrénées-Orientales)

Longitude : 2° 34' Est de Greenwich
Latitude : 42° 28' Nord
Altitude : 230 mètres.

a - Situation géographique et climat

La station thermale d'Amélie est située au centre d'une vallée orientée (Ouest-Est) à 35 kilomètres à l'Ouest de la Méditerranée, sur la rive droite du Têt.

Le climat est doux sans variations brusques. Les caractères climatiques sont les suivants : (MENGEL).

Saisons	t.°C minima	t.°C maxima	M + m / 2	Humidité	Pluies	
					mm	Jours
Hiver	2,7	11,9	7,3	68	170	16
Printemps	8,1	18,7	13,4	56	226	24
Eté	16	27,7	21,9	57	175	19
Automne	10	19,7	14,9	67	225	20
Année	9,2	19,5	14,4	62	796	79

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des eaux se situe entre 41 °C à 63 °C. Les eaux sont incolores aux griffons, prennent à l'air une couleur bleue et blanche. Le pH des sources est alcalin ; 7,5 pour la source de Rénale (Prise du robinet).

Leur débit est de 25,4.10.$^{-3}$ m^3/s soit 2 200 m^3/24 heures. Elles ont une saveur hépatique et une odeur d'oeuf dur. Les eaux sont douces au toucher. Les matières organiques (sulfuraires) sont abondantes. Le tableau suivant montre les caractères des sources d'Amélie :

SOURCES	t. °C	Q l/m	R.ohms.cm à 18 °C.	R.S. à 180 °C	Captage
Alcaline	60	7,2	2539		B.
Amélie	50	25	2530		B.
Anglada	56	18	2335		B.
Arago	60	95	2543	337,3	B.
Ascensionnelle	53	16	2550		B.
Chomel	48	8	2510	332,5	B.
Concorde	60	230	2280		B.
De la Galerie	50é	1,33	2610		B.
En Come	60	35	2610		B.
Fanny	61	52	2520		B.
Grand Montjolet	42	6,7	2150		B.
Pares	60	23	2249		B.
Pascalonne	51	1,8	2510	332,4	B.
Petit Escaladou	63	109	2250		B.
Petit Montjolet	58	8	2180		B.
La Rénale	41,5	20	2406	318,4	B.
Gros Escaladou	58	345	2635	320,4	B.

ANALYSES D'AMELIE-LES-BAINS

	Arago (3)	Arago (1)	Arago (2)	Chomel (2)	Chomel (1)
t. °C.		60	60	47	48
pH					
R. ohms. cm à 18 °C					2510
R.S. à 180 °C mg/l	329	337	337	332	332,4
Q m^3/s	$1,5.10^{-3}$	$1,6.10^{-3}$			$0,13.10^{-3}$
Radio-act m μ ci/l					
Gaz		H_2S			H_2S
r Ca^{++}	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13
r Mg^{++}	0,017	0,19	0,019	0,023	0,24
r Na^{+}	4,07	4,07	4,05	4,34	4,33
r K^{+}	0,17	0,17	0,17	0,12	0,12
Total cations	4,4	4,58	4,38	4,61	4,82
r Cl^{-}	0,67	0,72	0,73	0,69	0,69
r SO_4^{--}	0,95	0,92	0,91	0,98	0,98
r CO_3^{--}	1,77		1,76	1,75	
r HCO_3^{-}		1,76	1,27		1,7
r S^{--}	0,47	+	0,46	0,43	+
r S_2O_3	0,02		0,02		
r SiO_3^{--}	3,1		0,5	0,7	
Total anions	6,98	3,4	5,65	4,61	3,37
Silice en r SiO_3^{--}		2,4	1,9	1,6	2,31
Fe mg/l	0,5	+	+	+	+
Oligo-éléments		Li	I,As,Li	I, B, As	
M.O. mg/l			22	13,5	
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

ANALYSES D'AMELIE-LES-BAINS

	Pascalone (2)	Pascalone (1)	Escaldadou (6)	Escaldadou (1)	La Rénale (1)
t. °C	51,2	51	62,1	58	41,1
pH					
R. ohms. cm à 18°C		2510		2635	2406
R.S. à 180 °C mg/l	332,4	332,4	320	320,4	318,4
Q $m^3/s.$		$0,03.10^{-3}$		$5,6 .10^3$	
Radio-act. m µci/l					
Gaz		H_2S			H_2S
r Ca^{++}	0,1	0,1	0,2	0,2	0,26
r Mg^{++}	0,02	0,21	0,014	0,14	0,06
r Na^{+}	4,22	4,24	3,12	3,87	4,3
r K^{+}	0,12	0,12	0,11	0,13	0,25
Total cations	4,46	4,64	3,44	4,34	4,87
r Cl^{-}	0,67	0,67	0,61	0,62	0,65
r SO_4^{--}	0,98	0,98	0,76	0,77	1,02
r CO_3^{--}	1,74	1,75	1,71		
r HCO_3^{-}				1,71	1,91
r S^{--}	0,36	+	0,26	+	+
r $S_2O_3^{--}$	0,03		0,1		
r SiO_3^{--}	0,68				
Total anions	4,46	3,4	3,[illegible]	3,1	3,58
Silice en r SiO_3^{--}	1,68	2,3	1,6	2,31	2,2
Fe mg/l	+	+		+	+
Oligo-éléments	I, Li, B	Li	B.	Li	
M.O. mg/l	18,6				
N° de l'analyse	6	7	8	9	10

c - Hydrogéologie d'AMELIE-LES BAINS

Les sources sont issues dans la gorge du Mondony sur la rive gauche de Cours du Mondony en contact du gneiss et des schistes primaires (silurien). La plupart des griffons sont captés dans les galeries creusées dans les schistes à l'Ouest de l'Etablissement de Pujade à quelques dizaines de mètres sur la rive droite de la Têt (Voir carte géologique des sources autour du massif du Canigou planche 26).

La composition chimique des eaux est semblable, elles sont hyperthermales et riches en silice. Le résidu sec est faible, le pH alcalin. Les eaux sont cataloguées comme sulfurées sodiques, bicarbonatées. Le taux de Mg^{++} reste faible, le Na^{++} comme les eaux sulfurées sodiques des Pyrénées est largement prédominant. Les ions HCO_3^- sont plus élevés que les autres anions.

B - VALLEE DE LA TET

1/ VERNET, THUES, CANAVEILLES et St-THOMAS-LES-BAINS.

Coordonnées	Vernet	Thues	Canaveilles	St-Thomas
Longitude Est de Greenwich	2° 23' 30"	2° 15'	2° 16'	2° 10' 30"
Latitude Nord	42° 32' 40"	42° 31' 40"	42° 32'	42° 29' 40"
Altitude mètres	650	750	750	1 000

a - Situation géographique

La station thermale de Vernet-les-Bains est située sur la rive gauche du Cady qui est un des affluents de la Têt, à 55 kilomètres Sud de Villefranche et à 35 kilomètres de Perpignan.

Les deux stations de Thues et Canaveilles-les-Bains se trouvent dans une gorge très profonde l'une sur la rive droite, et l'autre sur la rive gauche de la Têt, dans une vallée étroite, particulièrement Canaveilles-les-Bains.

Saint-Thomas-Les-Bains est situé sur la rive gauche d'un affluent du Têt à 9 kilomètres à l'Ouest de Thues-Les-Bains.

b - Climat

Le climat de Vernet est doux. D'après O. MENGEL la pression atmosphérique oscille entre 700 et 710 mmHg, le brouillard est très rare, la moyenne hygrométrique annuelle est de 59. La moyenne de la température annuelle est de 11°8 (H. LAMARQUE), les journées claires sont nombreuses et les pluies sont rares.

A cause de leur altitude, le climat de Thues, Canaveilles et Saint-Thomas, diffère par rapport à celui de Vernet. La température annuelle y est plus basse et le brouillard plus fréquent.

c - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des eaux de Vernet oscille entre 8 et 66 °C. D'après R. JOLIBERT, la température des eaux de Vernet est la suivante :

Sources	t. °C	Sources	t. °C
Comtesse	8	Casteil	35
Santé	32	Providence	39
Elisa	33	Dona-Amélia	40
St-Sauveur	50	Ursule	42
Barrera	52		
Vapcrarium	53		
Le Parc	66		

La température des eaux de Thues s'échelonne entre 30 °C (Source Natation) et 75,5 °C (Saint-André). C'est la plus chaude des sources de la chaîne des Pyrénées. La température des eaux de Canaveilles est entre 32 °C et 64 °C (Source n° 7). A Saint-Thomas la température de l'eau est de 60,5 °C pour la Grande Source.

Nous avons déterminé le pH des eaux par la méthode colorimétrique. Le tableau suivant montre le pH, ainsi que la température, le débit, la résistivité et le résidu sec des eaux de ces quatre stations, d'après les Annales des Mines.

Source	t.°C	pH	Q l/m	R. ohms. cm à 18 °C	R.S. à 180°C	Captage
Vernet-les-Bains						
Barera	50		18	4344		B.
Du Parc	62		125	3950		P.4-G.25
Voporarium	53		18	4117		B.
Providence	39	7,6				
Thues-les-Bains						
Beauté	61,5	7,7	2	4220		B.
Calculeux	42		1,9	4173	262,4	B.
Escalada	58	7,6	82	4180		B.
Natation	30	7,7	22,5	4350	289,8	B.
Saint-André	75,5	7,6	320	4200	284	B.
Saint-Louis	44,5	7,6	7,6	4052		B.
Canaveilles-les-Bains						
Des Bains n° 7	64	8,2	16,2	4177	258	B.
De Canaveilles n°10	50	8,2	13,7		257	B.
Des Graus n° 4	56		8,2		251,9	B.
Des moines n° 6	36		2,1	4214	254	B.
Royale n° 3	32		1,6	4170	241	B.
Saint-Joseph n° 8	50		0,8	4206	254	B.
Saint-Lucie n° 11	52	8,3	2,5	4295	256,8	B.
Des Seigneurs n° 5	57		17	4205	246,7	B.
Saint-Thomas						
Baraquette n° 2	48		5,8	3860		B.
Baraquette n° 3	48		2,2	3790		B.
Grande-Source	60,5		480	4800		B.

Les eaux des quatre stations sont limpides et sans couleur. Leur odeur et leur saveur ne sont pas très prononcées, leur odeur rappelle celle des oeufs durs.

Le débit total atteint $4,23.10^{-3}$ $m^3/s.$ (374 000 l/24 h) à Vernet-les-Bains, $25,4.10^{-3}$ $m^3/s.$ (2200.000 l/24 h) à Thues-les-Bains, qui se place par rapport au débit comme à la température, en tête des 4 stations. Le débit des sources de Saint-Thomas est environ 20.10^{-3} $m^3/s.$

D'après A. LEPAPE les eaux de Vernet sont radio-actives ; 5,5 à 15,5 m ci/l, ainsi que les eaux de Thues (Docteur J. NOGUES). Elles sont riches en matières organiques (glairine et barégine).

ANALYSES DE VERNET-LES-BAINS

	Etablissement (3)	Source de Torrent (4)	Providence (3)	Providence (1)	Source Ursule (2)
t. °C.		39,2	37,3	39	39,5
pH					
R. ohms. cm à 18 °C				4350	
R.S. à 180 °C.mg/l		273	213,6	213	221,4
Q $m^3/s.$				$0,5.10^{-3}$	
Radio-act. m μci/l					
Gaz					
r Ca^{++}	0,15	1,124	0,15	0,15	0,15
r Mg^{++}	0,033	0,106	0,03	0,033	0,033
r Na^{+}	2,4	3,47	2,33	1,91	2,38
r K^{+}	0,072	0,14		0,58	0,07
Total cations	2,655	4,84	2,51	2,673	2,633
r Cl^{-}	0,24	0,27	0,22	0,22	0,23
r SO_4^{--}	0,51	0,392	0,48	0,46	0,5
r CO_3^{--}	1,34	1,918	1,23		1,333
r HCO_3^{-}				1,24	
r S^{--}	0,52	1,1	0,49	+	0,51
r $S_2O_3^{--}$	0,061	SO_3=0,08	0,09		0,06
r SiO_3		1,08			
Total anions	2,671	4,84	2,51	1,92	2,633
Silice en r SiO_3^{--}			2	2,05	2
Fe mg/l	trace	trace	trace	+	+
Oligo-éléments		Al, Br, I	Li, B, As,I	B, Li	Li, As, I,B
M.O. mg/l		glairine	12,7		12,7
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

ANALYSES DE THUES

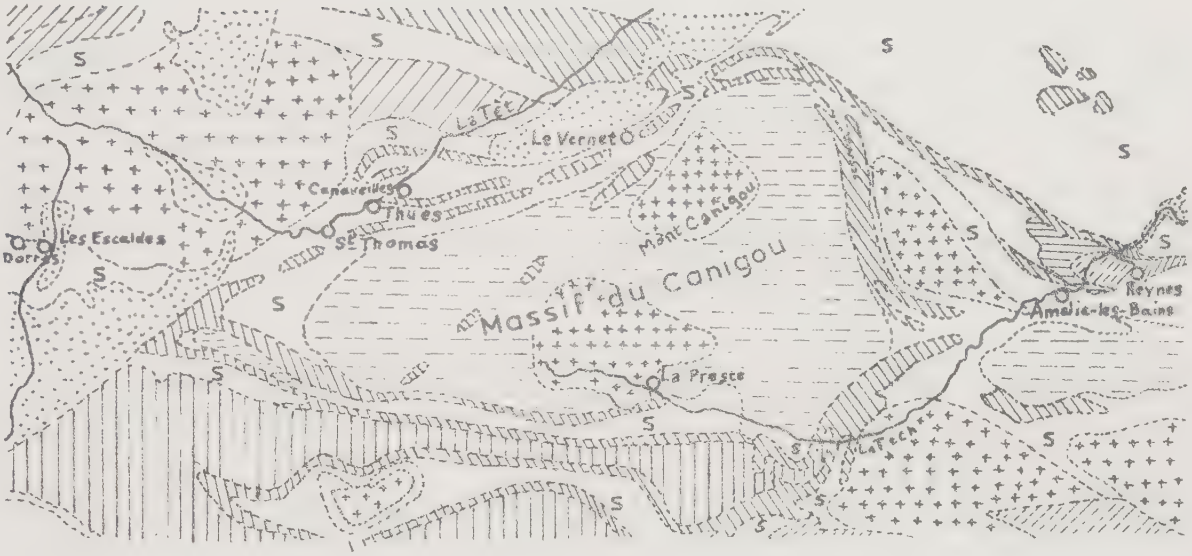
	St-André Thues (2)	St-André (8)	Buvette 4 (2)	Calculeux (8)	Cascade (2)	Sulfureuses (2)
t.°C	74,9	75,5	41,5	42	79,4	42,2
pH						
R. ohms. cm à 18 °C		4200		4173		
R.S. à 180 °C mg/l	284	284	262	262	275	262
Q $m^3/s.$		$5,3.10^{-3}$		$0,03.10^{-3}$		
Radio-act. m μ ci/l						
Gaz						
r Ca^{++}	0,1	0,1	0,12	0,12	0,12	0,1
r Mg^{++}	0,01	0,008	trace	trace	trace	trace
r Na^{+}	2,6	2,6	2,56	2,6	2,6	2,56
r K^{+}	0,15	0,16	0,13	0,13	0,11	0,12
Total cations	2,86	2,868	2,81	2,85	2,83	2,78
r Cl^{-}	0,3	0,31	0,29	0,29	0,28	0,3
r SO_4^{--}	0,36	0,38	0,62	0,62	0,34	0,44
r CO_3^{--}	1,01		1,09		0,93	1
r HCO_3^{-}		1		1,09		
r S^{--}	0,6	+	0,35	+	0,48	0,4
r $S_2O_3^{--}$	0,21		0,17		0,2	0,19
r SiO_3^{--}	0,38		0,29		0,6	0,45
Total anions	2,86	1,69	2,81	2	2,83	2,78
silice en r SiO_3^{--}	2,5	2,8	2,5	2,86	2,4	2,4
Fe mg/l						
Oligo-éléments	B, As, P		B, As, I		B, As, I	B, As, I
M.O. mg/l	44,6	1	18,6		37,3	24,3
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6

ANALYSES DE St-THOMAS et CANAVEILLES

	St-Thomas (10)	Canaveille N° 4 (8)	Canaveille N° 7 (8)	Canaveilles St-Jacques (2)
t.°C.		56	64	36,4
pH				
R. ohms. cm à 18 °C		4292	4177	
R.S. à 180 °C mg/l		251	258	242
Q $m^3/s.$		$0,12.10^{-3}$	$0,27.10^{-3}$	
Radio-act. m μ ci/l				
Gaz				
r Ca^{++}	0,29	0,09	0,08	0,1
r Mg^{++}	trace	0,008	0,008	trace
r Na^{+}	2,36	2,5	2,75	2,55
r K^{+}		0,075	0,077	0,071
Total cations	2,65	2,673	2,915	2,72
r Cl^{-}	0,25	0,11	0,093	0,22
r SO_4^{--}	0,44	0,74	0,53	0,74
r CO_3^{--}	0,9			0,97
r HCO_3^{-}		1,64	1,48	
r S^{--}	0,56	+	+	0,45
r $S_2O_3^{--}$				0,02
r SiO_3^{--}				0,32
Total anions	2,15	2,49	2,103	2,721
Silice en r SiO_3^{--}		3,04	3,1	2,3
Fe mg/l		+	+	+
Oligo-éléments		Li, B, Al	Li, B, Al	Li, I, B
M.O. mg/l				13,1
N° de l'analyse	1	2	3	4

Pl. 26

SOURCEs AUTOUR DU MASSIF DU CANIGOU



Granites

Gneiss et micaschistes

Schistes satinés

S Silurien

Dévonien

Carbonifère

Permo trias et jurassique

Crétacé et nummulitique

Alluvions

o Sources chaudes

Référence: P. Urbain

d - Hydrogéologie de Vernet, Thues, Canaveilles, St-Thomas

Les sources de ces quatre stations émergent sur la bordure septentrionnale du Massif du Canigou. Ce massif est constitué par des gneiss et du granite. D'après O. MENGEL les griffons de Vernet, Thues et Canaveilles sourdent à la faveur des failles provoquées par le mouvement relatif des schistes primaires sur le massif cristallin (voir la carte géologique planche 26).

La température des eaux s'échelonne de 30 °C à 75 °C, la plupart des eaux ont une température supérieure à 50 °C. La plus chaude des sources émerge à Thues-les-Bains, elle est aussi la plus chaude des sources des Pyrénées (75,5 °C, source Saint-Andréé), son débit est très élevé ($5{,}33.10^{-3}$ m^3/s). Les autres émergences réparties autour de cette source ont une température et un débit moins élevés.

Les griffons des sources de Canaveilles en aval de Thues apparaissent au même niveau que les eaux de la Têt ; en conséquence on peut lui attribuer la dégénérescence de quelques griffons : augmentation de SO_4^{--} et diminution de S^{--}. Un sondage a rencontré l'eau thermale à la même température qu'aux griffons de Thues.

Quant au Vernet, les griffons des sources se trouvent sur les deux rives du Cours de Cady dans les schistes siluriens au Nord du Massif gneissique du Canigou injecté de veines granitiques irrégulièrement distribuées.

e - Conclusion

Les eaux des quatres stations sont classées comme sulfurés sodiques riches en silice. Elles sont parmi les sources les plus chaudes de la chaîne des Pyrénées. L'ensemble des caractères : faible teneur en Cl^-, absence du Mg^{++}, prédominance du Na^+ sur Ca^{++} et $S^=$ sur $SO_4^=$, en fait des eaux typiques d'origine profonde granitique. Ces caractères sont constants bien que la température varie dans de larges intervalles.

Le filon principal émerge à Thuès (débit et température maxima), les autres sources, moins chaudes et de débit moins fort, issues dans la vallée de la Têt ne sont que les filons détachés du filon principal d'origine gneissique du Massif du Canigou en contact des schistes primaires.

C - VALLEE DE L'AUDE

USSON-LES-BAINS (Voir Escouloubre)

D - VALLEE DE L'ARIEGE

MERENS (Ariège)

Longitude	1°	49'	30"	Est de Greenwich
Latitude	42°	38'	20"	Nord
Altitude	1055			mètres

Le village de Mérens est à 8,5 kilomètres au Sud d'Ax-les-Thermes. Les griffons des sources de Mérens se trouvent à l'Est du village, sur la rive droite de la vallée du Nabre.

Les eaux sont sulfurées sodiques et chaudes, la température des eaux s'échelonne de 36 °C. à 45 °C. Le débit est environ $0,3.10^{-3}$ m^3/s. Elles sont chargées en silice (2,9 méq/l), et comme les eaux d'Ax, elles ont un résidu sec très faible (290 mg/l), les autres caractères des eaux sont semblables à ceux des eaux d'Ax.

Quant aux terrains d'émergences, ce sont des schistes siluriens sur la ligne du pli-faille de Mérens (voir la carte géologique planche 5).

Leur grande ressemblance avec les eaux thermales d'Ax leur fait attribuer la même origine.

ANALYSES DE MERENS

	Source des Bains (2)	Source de la Chalaneille (2)	Source de Saillens (2)
t.°C		35	
pH			
R. ohms. cm à 18 °C			
R.S. à 180 °C mg/l	290	293	
Q $m^3/s.$			
Radio-act. m μ ci/l			
Gaz			
r Ca^{++}	0,46	0,41	0,29
r Mg^{++}	0,04	0,041	0,028
r Na^{+}	2,43	2,55	1,56
r K^{+}	0,02	0,03	0,012
Total cations	2,95	3,01	1,89
r Cl^{-}	0,46	0,48	0,202
r SO_4^{--}	0,41	0,38	0,34
r CO_3^{--}			
r HCO_3^{-}	1,63	1,64	1,15
r S^{--}	0,47	0,55	0,21
r $S_2O_3^{--}$			
r SiO_3^{--}			
Total anions	2,97	3,05	1,9
silice en r SiO_3^{--}	2,8	2,9	2
Fe mg/l	+	+	+
Oligo-éléments			
M.O. mg/l	2,8	2,9	3,2
N° de l'analyse	1	2	3

E - VALLEE DE LA PIQUE

SALLES (Haute-Garonne)

Longitude	0°	34'	Est de Greenwich
Latitude	42°	50'	Nord
Altitude	env. 630		Mètres

A 4 kilomètres au Nord de Bagnères-de-Luchon dans la vallée sur la rive droite de la Pique, on peut trouver une source froide à 15 °C. qui jaillit par plusieurs ouvertures au milieu d'atterrissements. Le débit est environ $0,1.10^{-3} m^3/s$. Le résidu sec est de 325 mg/l, et la silice atteint 0,4 méq/l. Elles renferment 130 mg/l de CO_2 libre (Jacquot).

Elles sont cataloguées comme les ferrugineuses issues des schistes siluriens (voir la carte géologique, planche 27.) L'aspect du diagramme les fait ranger parmi les eaux sulfatées calciques.

ANALYSE DE SALLES

	Sources de Salles (2)
t. °C	16
pH	
R. ohms. cm à 18 °C.	
R.S. à 180 °C mg/l	325,2
Q m^3/s	
Radio-act. m μ ci/l	
Gaz	CO_2
r Ca^{++}	2,5
r Mg^{++}	0,66
r Na^{+}	0,147
r K^{+}	
Total cations	3,307
r Cl^{-}	0,08
r SO_4^{--}	4,337
r CO_3^{--}	
r HCO_3^{-}	
r S^{--}	
r $S_2O_3^{--}$	
r SiO_3^{--}	
Total anions	4,417
Silice en r SiO_3^{--}	0,4
Fe mg/l	+
Oligo-éléments	
M.O. mg/l	
N° de l'analyse	1

F - VALLEE DE NESTE D'AURE

CADEAC, TRAMZAYGUES, et LOUDENVIELLE

Coordonnées	Cadéac	Tramzaygues	Loudenvielles
Longitude Est de Greenwich	21' 20"	16'	24' 24' 30"
Latitude Nord	42° 53' 20"	40° 47'	40° 47' 20
Altitude mètres	710	970	700

a - Situation géographique

Les trois villages sont situés dans le département des Hautes Pyrénées. Les sources de Cadéac sont sur les deux rives du Cours de la Neste d'Aure à 2 kilomètres au Sud d'Arreau. La seule source de Tramzaygues se trouve à 2 kilomètres vers le Sud du village sur la rive gauche de Cours du Neste de Louron.

b - Propriétés physico-chimiques et hydrogéologie de Cadéac, Tramzaygues et Loudenvielle

La température des eaux de Cadéac est de 14 °C. Pour le griffon de la rive droite et 18°C pour les griffons de la rive gauche. La température à Tramzaygues est de 20 °C et à Loudenvielles 26,4 °C. Le pH des eaux de Cadéac est de 7,5 (griffons rive gauche et rive droite). Les eaux sont incolores et ont une odeur d'oeufs couvés. Elles sont classées comme sulfurées sodiques et froides. Le débit de ces trois sources est environ ; $0,3.10^{-3}$ m^3/s Cadéac $0,2.10^{-3}$ m^3/s. Tramzaygues, et $0,2.10^{-3}$ m^3/s. pour Loudenvielles.

Les eaux de Cadéac émergent au pied du massif granitique de Bordères dans les schistes de Carbonifères, en contact de Dévonien (voir la carte géologique planche 23).

Les griffons de Tranzaygues sont situés dans les schistes dévoniens (voir la carte géologique planche 23).

La composition chimique leur fait attribuer la même origine qu'aux autres eaux sulfurées sodiques, cependant, on note leur faible débit et leur basse température.

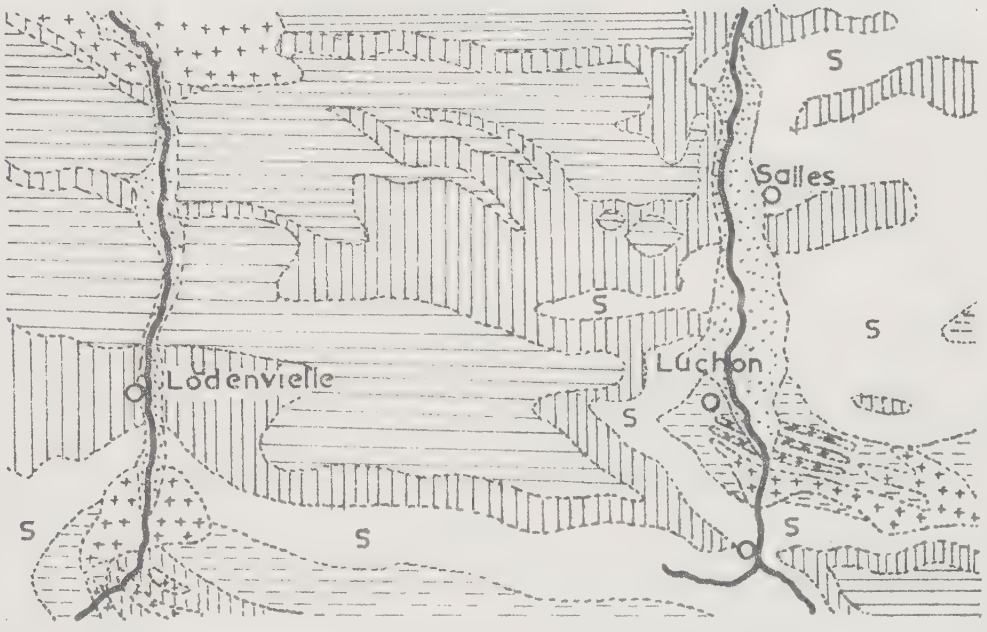
ANALYSES DE LOUDENVIELLE, TRAMZAYGUES

	de Saussat Loudenvielle (8)	Loudenvielle (2)	Tramzaygues (2)
t. °C	26,4		20
pH			
R.ohms. cm à 18 °C	4000		
R.S. à 180 °C mg/l	213	212	218
Q m^3/s	$0,5.10^{-3}$		
radio-act. m μ ci/l			
Gaz			
r Ca^{++}	0,66	0,66	0,55
r Mg^{++}	0,058	0,059	0,82
r Na^{+}	2,5	2,32	1,80
r K^{+}			0,05
Total cations	3,218	3,039	3,22
r Cl^{-}	0,76	0,7	0,51
r SO_4^{--}	0,81	0,8	0,75
r CO_3^{--}		0,719	1,2
r HCO_3^{-}	0,72		
r S^{--}	+	0,55	0,56
r $S_2O_3^{--}$			
r SiO_3^{--}		0,27	0,27
Total anions	2,29	3,039	3,28
Silice en r SiO_3^{--}	0,75	+	
Fe mg/l		+	
Oligo-éléments			I,B
M.O. mg/l		17,5	
N° de l'analyse	1	2	1

CARTE GÉOLOGIQU E DE

BAGNERES-DE-LUCHON et LOUDENVIELLE

Pl. 27



Carbonifère

Micaschistes

Dévonien

Gneiss

Silurien

Granite

Alluvions

O Aires Hydro-thermales

Référence: P. Urbain

G - VALLEE DE BASTAN

BAREGES et BARZUN (Hautes-Pyrénées)

Les coordonnées de ces deux stations sont les suivantes :

Longitude	:		4'	Est de Greenwich
Latitude	:	42°	53' 40"	Nord
Altitude	:	1235		mètres

a - Situation géographique

La station thermale de Barèges est située dans la vallée étroite de Bastan, sur la rive gauche du cours du même nom. La vallée de Bastan orientée Est-Ouest, s'étend sur une longueur de 12 kilomètres, depuis le Col du Tourmalet jusqu'au bassin de Luz. C'est une des rares vallées pyrénéennes longitudinales. Le village forme une longue rue montante terminée par l'Etablissement thermal. Barèges est après les Escaldes la station thermale la plus élevée de France.

La petite station thermale de Barzun se trouve à 700 mètres en aval de Barèges, sur la rive droite du cours de Bastan.

b - Climat

La température de l'air est donnée par le docteur BETOUS par les quatre mois de la saison thermale :

Juin	moyenne	14 °C
Juillet	"	17 °C
Août	"	16 °C
Sept.	"	14 °C
maximum général de la saison		30 °C
minimum général de la saison		2 °C.

La moyenne générale de la température de l'été est de 15 °C, le mois le plus chaud est Juillet. On compte par mois d'été, 13 jours purs, 10 jours nuageux, 7 jours couverts. La pression atmosphérique est 661 millibars.

c - Propriétés physiques des eaux

La température des eaux de Barèges s'échelonne entre 18,5 °C et 44 °C. Elles sont incolores, limpides et onctueuses au toucher. Son odeur rappellent celle d'oeufs couvés.

Le débit total d'après JADIN atteint à $1,9.10^{-3}$ m^3/s, (170 m^3 par jour) pour Barèges, et $1,15.10^{-3}$ m^3/s (100 m^3 pour Barzun.)

La radioactivité des eaux est déterminée par R. MASSY, elle est relativement forte d'une manière générale, la radioactivité des eaux décroit, lorsque la température augmente (voir tableau page suivante).

La résistivité des eaux n'est pas très élevée : celles les plus chaudes ont une résistivité moins élevée.

Le pH des eaux d'après MASSY et DUPRENOY est le suivant :

Sources	Ph	Sources	Ph
Nouvelle	9,9	Entrée 1	9,9
Dassieu	9,9	" 2	9,8
Polard 1	9,9	" 3	9,8
Polard 2	9,9	Bain Neuf	9,8
Ramond	9,5	Gency 1	9,8
Le Fond	9,9	Gency 2	9,8
Tambour 1	9,9	Saint-Roch	9,7
" 2	9,8	Louvois	9,7

Le pH de l'eau de Barzun au robinet est de 9,6.

Dénomination du griffon	R. Massy 1927	Résistivité à 18° C	Conductivité à 18° C	Radio-activité Radon (en millimicrocurie par litre d'eau	Degré sulphydrométrique (M. Cazaux)
Bordeu	22° 8	3 849 ohms	$2{,}60 \times 10^{-4}$	0,387	9,45
Nouvelle	35°7	4 241 -	2,36 × -	0,753	8,66
Dassieu	36°4	4 194 -	2,38 × -	0,698	8,93
Polard I	37°2	4 163 -	2,40 × -	0,637	9,19
Polard II	37°3	4 179 -	2,39 × -	0,687	9,26
Ramond	26°9	7 370 -	1,36 × -	0,470	2,31
Le Fond	36°3	3 993 -	2,50 × -	0,694	9,72
Tambour I	43°8	3 453 -	2,90 × -	0,454	12,63
Tambour II	44°0	3 483 -	2,87 × -	0,459	12,90
Entrée I	43°7	3 439 -	2,91 × -	0,472	13,16
Entrée II	43°3	3 453 -	2,90 × -	0,502	13,90
Entrée III	36°6	3 503 -	2,85 × -	0,610	12,37
Bain Neuf	37°5	3 483 -	2,87 × -	0,564	12,37
Greney	37°1	3 438 -	2,91 × -	0,525	12,63
La Chapelle	31°9	4 694 -	2,13 × -	1,120	7,61
Saint Roch	32°2	3 558 -	2,81 × -	0,572	10,35
Louvois	24°9	4 850 -	2,06 × -	1,620	7,08
Troy	18°5	6 029 -	1,66 × -	1,090	5,75

d - Propriétés chimiques des eaux

Les eaux de Barèges offrent une grande stabilité des composés sulfurés, c'est-à-dire qu'elles ne se décomposent pas facilement au contact de l'air, ce qui leur permet d'être transportées sans altération sensible. Les autres éléments essentiels de la minéralisation des eaux sont les chlorures et les silicates.

Lesgaz sont abondants, variables suivant les griffons, mais considérables dans la source de Barzun.

D'après le tableau précédent, on peut trouver la relation entre :

1) La sulfuration et la température, de telle manière que, la sulfuration croît quand la température croît ;

2) La résistivité diminue lorsque la sulfuration augmente.

3) Les eaux moins chaudes et sulfurés sont les plus radioactives.

Les matières organiques y sont abondantes. Etudiées pour la première fois à Barèges, elles lui doivent leur nom de Barégine.

ANALYSES DE BAREGES

	Tambour (11)	Tambour (8)	Nouvelle (11)	Nouvelle (8)	Entrée 1 (8)	St-Roch (11)	Polard (12)	Gency (12)
t. °C		43,5	34	43,7				
pH	9,55		9,7		9,5			
R. ohms. cm à 18 °C		3000		3630	2970			
R.S. à 180 °C mg/l		270,5		222,6	264,4			
Q $m^3/s.$		$0,33.10^{-3}$		$0,6.10^{-3}$				
Radio-act. m μci/l		0,454		0,753	0,472			
Gaz								
r Ca^{++}	0,155	0,19	0,145	0,14	0,14	0,21	0,21	0,125
r Mg^{++}	0,025	0,025	0,017	0,017	0,02	0,3	0,025	0,03
r Na^{+}	3,052	3,04	2,665	2,7	2,96	2,73	2,39	2,14
r K^{+}	0,074	0,075			0,11			
Total cations	3,306	3,33	2,807	2,857	3,23	3,26	2,625	2,295
r Cl^{-}	0,715	0,72	0,521	0,52	0,67	1,24	0,76	0,88
r SO_4^{--}	0,319	0,32	0,431	0,43	0,38		0,36	0,3
r CO_3^{--}	0,097		0,129			0,109		
r HCO_3^{-}	0,454		0,421			0,579		
r S^{--}	0,501	+	0,327	+	+	0,489	0,64	0,71
r $S_2O_3^{--}$	0,136		0,15					
r SiO_3^{--}	1,084		0,848			0,573	1,74	1,49
Total anions	3,306	1,04	2,827		1,05	2,99	3,5	3,41
Silice en r SiO_3^{--}		2,9		2,4	2,92			
Fe mg/l		+		+	+		trace	trace
Oligo-éléments		Mn, Li, I As, B, Br		Mn, Li As, B, I	Mn, Li As, B, I			
M.O. mg/l							44,5	30
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7	8

ANALYSES DE BARZUN

	Barzun (8)	Barzun (11)
t. °C	29,5	
pH		
R. ohms. cm à 18 °C	3950	
R.S. à 180 °C. mg/l	239,9	
Q m^3/s.	$1,1.10^{-3}$	
Radio-act. m µci/l		
Gaz		
r Ca^{++}	0,16	0,165
r Mg^{++}	0,017	0,016
r Na^{+}	2,8	2,83
r K^{+}	0,08	0,08
Total cations	3,057	3,091
r Cl^{-}	0,6	0,59
r SO_4^{--}	0,42	0,41
r CO_3^{--}		0,25
r HCO_3^{-}		0,55
r S^{--}	+	0,37
r $S_2O_3^{--}$		0,12
r SiO_3^{--}		0,81
Total anions	1,02	3,04
Silice en r SiO_3^{--}	2,3	
Fe mg/l	+	0,03
Oligo-éléments	Mn, Li As, B,I	
M.O. mg/l		
N° de l'analyse	1	2

e - Hydrogéologie de Barèges et Barzun

Les griffons de ces deux stations sont situés dans la vallée de Lastan qui á été entièrement recouverte par un glacier, dont on voit actuellement les traces, jusqu'à Luz. Cette vallée est faite dans les schistes et les calcaires du carbonifère, en bordure Nord du massif de Néouvielle. (Voir la carte géologique des sources autour des massifs de Cauterets et Néouvielle (planche 23).

Nature du terrain d'émergence : d'après FARBES, les eaux proviennent directement du granite du Massif de Néouvielle d'après FONTAN elles proviennent du "terrain primitif", (granite) à la limite du "terrain de transition" schistes primaires et pour GARRIGOU, elles prennent naissance dans le granite.

L'origine des eaux doit être profonde (à cause de la composition chimique et de la température).

Cependant pour les eaux de radio-activité plus élevée et de température plus basse, on peut penser à un mélange avec les eaux superficielles.

La minéralisation et le résidu sec des eaux sont en accord avec les eaux classées comme sulfurées sodiques faibles (270 mg/litre résidu sec). Les eaux sont riches en silice.

H - VALLEE DE GAVE DE PAU

1/SAINT-SAUVEUR (Hautes-Pyrénées)

Longitude	:	0	1'		Ouest de Greenwich
Latitude	:	42°	51'	40"	Nord
Altitude	:	730			mètres.

a - Situation géographique

Le village de Saint-Sauveur est situé dans la vallée de Lavedan, sur les flancs de la montagne de l'Aze à une hauteur d'environ 60 mètres au-dessus du du Gave de Pau. La distance entre la station et Gavarnie est de 18 kilomètres, et de Lourdes, de 30 kilomètres.

Le climat est doux, le village est abrité des vents violents par des montagnes. Une aération constante dans la vallée rafraîchit l'air. Température de l'air sous abri au mois de Juillet est de 17 °C.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température de la Source des Dames est de 24 °C, et de Hountalade est 17 °C dans le bassin.

Le pH de la Source des Dames déterminé par la méthode colorimétrique est de 8, et la Source Hountalade 7,9.

Le débit de la Source des Dames est de $0{,}27.10^{-3}$ m^3/s (145 m^3 par 24 heures), de Hountalade $0{,}2.10^{-3}$ m^3/s. (18 m^3 par 24 heures) et de Dufau $0{,}1.10^{-3}$ m^3/s (9,5 m^3 par 24 heures).

L'eau est incolore, ne blanchit pas à l'air, très onctueuse à toucher, à une odeur d'oeuf couvé. Elle dégage des petites bulles de gaz. Elle contient de la barégine en suspension qu'on rencontre dans la plupart des eaux sulfurées des Pyrénées.

La sulfuration atteint à 25 mg par litre pour la Source des Dames et 20 mg par litre pour Hountalade. La silice atteint à 2 milliéquivalents par litre. Les autres éléments sont presque comme les autres eaux sulfurées des Pyrénées.

ANALYSES DE SAINT-SAUVEUR

	St Sauveur (11)	des Dames (2)	des Dames (1)	Hounta-lade (2)	Hounta-lade (1)	Hounta-lade (7)	des Bains St Sauveur (7)
t. °C		34,3	34	22	20,6	22	35
pH							
R. ohms. cm à 18 °C			3300		3070		
R.S. à 180 °C		255,6	255,6	249,3	249,3		
Q $m^3/s.$		$1,6.10^{-3}$	$1,33.10^{-3}$	$0,2.10^{-3}$	$0,11.10^{-3}$		$1,66.10^{-3}$
Radio.act.m | ci/l							
Gaz		CO^2	N	CO^2			
r Ca^{++}	0,22	0,22	0,21	0,18	0,18	0,09	0,1
r Mg^{++}	0,024	0,02	0,025	0,02	0,025	0,05	0,06
r Na^{+}	2,93	2,92	2,92	2,85	2,89	3,6	3,47
r K^{+}	0,091	0,091	0,09	0,08	0,08		
Total cations	3,269	3,251	3,24	3,13	3,18	3,74	3,63
r Cl^{-}	1,2	1,2	1,21	1,3	1,3	1,33	1,2
r SO_4^{--}	0,556		0,57	0,47	0,48	0,61	0,56
r CO_3^{--}	0,086						
r H CO_3^{-}	0,424						
	SH = 0,2						
r S^{--}	0,108	0,63	+	0,53	+	0,51	0,56
r $S_2O_3^{--}$	0,152	0,15					
r SiO_3^{--}	0,52	0,72		0,83		1,34	1,36
Total anions	3,26	3,251	1,75	3,13	1,78	3,79	3,68
Silice en r SiO_3^{--}		1,3	2,08	1,29	2,15		
Fe mg/l		trace	+				
oligo-éléments		I,B,P,Br	Li,I,Br,B	I,Br,B	Li,I,Br	B, I	B, I
M.O. mg/l						31	32
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7

c - Hydrogéologie de Saint-Sauveur

L'émergence des sources se trouve dans la vallée du Gave de Pau à quelques mètres au-dessus de la rivière, sur la rive gauche. D'après la carte géologique, les calcaires et les schistes dans lesquels se trouvent des sources de St-Sauveur, appartiennent au carbonifère. Non loin de là, à l'Ouest, on peut voir le granite du massif de Cauterets (voir la carte géologique planche 23). Une source froide à grand débit voisine avec la source tiède Hountalade.

L'origine des eaux doit être cherchée dans le contact des roches granitiques et des terrains primaires. Par analogie, il est possible de leur attribuer la même origine qu'aux eaux de Cauterets, qui est situé sur le contour du même massif granitique.

Une partie du chlore des eaux pourrait être du à la formation secondaire Sud-Pyrénéenne pincée dans les chevauchements de cette région, qui n'affleure pas, comme Gavarnie au Sud de Saint-Sauveur. La plupart des autres éléments d'eau sont ; la silice (2 milliéquivalents par litre), les sulfures (0,6 milliéquivalents par litre) et le sodium (3 milliéquivalents par litre). Les eaux sont sulfurées classées comme sodiques chlorurées, riche en silicium, à un pH alcalin et mésothermales. Les compositions chimiques des eaux des différentes sources sont identiques, mais il y a des différences de température et de pH. Le résidu sec à cause de sa faible minéralisation est très bas.

2/ BEAUCENS, GAZOST et LABASSERE (Haute-Pyrénées)

Coordonnées	Beaucens	Gazost	Labassère
Longitude	4' Ouest de Greenwich	2' Est de Greenwich	4' 30" Est de Greenwich
Latitude Nord	42° 59'	43°	43° 2' 30"
Altitude Mètres	470	800	682

a - Situation géographique

La station thermale de Beaucens est située entre Argelès-Gazost et Pierrefitte sur la rive droite du Gave de Pau, au pied du Coteau de DAVANTAIGE dans la vallée d'Argelés, à peu de distance de Beaucens.

Les sources de Gazost qui alimentent l'Etablissement d'Argelès-Gazost se trouvent à 18 kilomètres Sud-Est de Lourdes à l'Est d'Argelès-Gazost. Les sources se trouvent sur la rive droite du cours de Castelloubon.

Labassère est à 6 kilomètres de Bagnères-de-Bigorre, et sa source est à 4,5 kilomètres Sud-Ouest du village dans une vallée étroite.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des eaux de trois stations s'échelonne entre 14 à 18 °C pour Beaucens, 12 à 15 °C pour Gazost et 12 °C pour Labassère. Nous avons déterminé le pH des eaux sur place par la méthode colorimétrique ; 7,4 pour les sources de Gazost et 7,5 pour Beaucens.

L'eau de ces trois stations est incolore, a une odeur légèrement sulfurée (sauf Beaucens). Le débit journalier de Beaucens atteint à 47 m^3, Gazost 300 m^3, et Labassère 28 m^3. D'après le professeur BRUSTIER la radio-activité de la Grande Source de Gazost est de 0,30 millimicrocuries par litre. Les eaux dégagent des bulles de gaz. Le dosage de l'acide carbonique des eaux de Gazost a été fait par BRUSTIER, voici le résultat :

Acide carbonique	libre	13 mg/litre
"	semi-combiné	31 " "
"	combiné	31
"	Total	75 " "

Les eaux de Beaucens ont la même composition chimique, elles sont chlorurées sodiques avec traces de fer et de silice (0,5 milliéquivalents par litre). La radioactivité d'après la publication de la station thermale est de 3,03 millimicrocuries par litre pour l'eau, et 10,36 pour les gaz spontanés.

Le résidu sec des eaux est relativement fort (900 mg par litre).

Les eaux de Gazost sont sulfurées sodiques et chlorurées calciques, les chlorures sont de 6,7 milliéquivalents par litre, les sulfures y atteignent 0,9 milliéquivalents. Elles ne sont pas très chargées par rapport aux eaux de Beaucens, le résidu sec atteint à 302 mg par litre pour la source Hount Poudio, la silice de la même source est de 0,8 milliéquivalents par litre, on trouve aussi les traces de fer dans l'eau. Les matières organiques y sont abondantes.

Quant à l'eau de Labassère, elle possède des chlorures (4,3 milliéquivalents par litre), des sulfures (1,2 milliéquivalents par litre), la silice y est 1,3 milliéquivalents par litre. Elle possède des matières organiques des eaux sulfurées(glairine).

ANALYSES DE : BEAUCENS, ARGELES-GAZOST et LABASSERE

	L'Etablissement Beaucens (1)	La Grange Beaucens (8)	Grande source Gazost (2)	Hount Poudio Gazost (1)	Source Noire Gazost (2)	Labassère (2)	Labassère (1)
t.°C	18	14,5	14	15,5	12,5	12,5	11,8
pH	7,6						
R. ohms. cm à 18 °C	790	700		2290			1400
R.S. à 180 °C	902,2	870	302,6	302,6	533,4	432,2	432,2
Q $m^3/s.$	$0,45.10^{-3}$	$0,09.10^{-3}$		3.10^{-3}		$0,3.10^{-3}$	$0,33.10^{-3}$
Radio-act. mμci/l							
Gaz			NH_3, CO_2		NH_3, CO_2	NH_3	
r Ca^{++}	1,56	1,48	1,35	1,37	0,78	0,2	0,19
r Mg^{++}	0,4	0,67	0,033	0,03	0,036	0,023	0,02
r Na^{+}	12,6	12,4	3,06	3,08	7,1	6,198	6,17
r K^{+}	0,97	0,61	0,1	0,1	0,22	0,19	0,19
Total cations	15,53	15,16	4,54	4,58	8,14	6,611	6,57
r Cl^{-}	12,5	11,9	2,9	2,9	6,72	4,3	4,3
r SO_4^{--}	0,018	0,004	0,22	0,22	0,19	0,33	0,34
r CO_3^{--}			0,563		0,082	0,743	
r HCO_3^{-}	2,8	2,8	0,4	0,53	0,59	0,54	0,74
r S^{--}			0,86	+	0,92	1,19	+
r $S_2O_3^{--}$			0,005		0,015	0,048	
r SiO_3^{--}					0,216		
Total anions	15,31	14,7	4,948	3,65	8,733	7,151	5,38
silice en r SiO_3^{--}	0,48	0,5	0,8	0,8	1,2	1,3	1,3
Fe mg/l	0,6	+	+	+	+		
Oligo-éléments			I, Li,	I, Li,	I, Li,	I, Li,	I, Li
M.O. m g/l			27,7		30	23,7	
N° de l'analyse	1	2	1	2	3	1	2

c - Hydrogéologie de Beaucens, Gazost et Labassère

Sur le bord septentrional du Pic du Midi, on rencontre successivement de l'Ouest à l'Est l'aire d'émergence de : Beaucens dans la vallée de Gave de Pau. A quelques kilomètres Gazost dans la vallée de Castelloubon, et enfin Labassère, presque au pied du Pic du Midi de Bigorre (2865 mètres). (voir la carte géologique des sources autour des massifs de Cauterets et Néouvielle planche 23).

Les griffons de Beaucens sont situés au pied d'une colline de calcaire et de schiste de Carbonifère, entourée par les schistes et calcaires du Dévonien (carte géologique).

Les griffons de Gazost se trouvent à une altitude plus élevée que l'établissement thermal d'Argelès, dans les schistes du Dévonien de la haute vallée de Gazost.

La source de Labassère sourd des schistes dévoniens à quelques mètres sud des schistes carburés de Silurien, sur le flanc Nord du Pic du Midi.

En comparant la composition chimique des eaux de ces trois stations on remarque la ressemblance de composition des eaux de Gazost avec Labassère, tous les deux sont sulfurées-chlorurées sodiques avec toutefois quelques différences en ce qui concerne les ions Ca^{++}, et les bicarbonates.

Les eaux de Beaucens sont plus chargées. Tous les ions sauf les sulfates ont des teneurs 3 à 15 fois supérieur aux eaux de Labassère et Gazost. En outre, les eaux semblent dépourvus de sulfures.

Par conséquent, on peut attribuer une origine profonde pour les eaux de Gazost et Labassère, et une relation des eaux de Beaucens avec les formations secondaires de la région. L'origine des sulfures et de la silice doit être due aux formations schisteuses primaires et aux roches granitiques du pied du Pic du Midi.

ZONE NORD PYRENEENNE - COUVERTURE SECONDAIRE

I - TRIASIQUE

SIRADAN et SAINTE-MARIE (Hautes-Pyrénées).

Longitude : 0° 34' 30" Est de Greenwich
Latitude : 42° 58' Nord
Altitude : 450 mètres.

a - Situation géographique et climat

Les deux petits villages se trouvent l'un près de l'autre sur la rive gauche de la Garonne, à 20 kilomètres Nord de Bagnères-de-Luchon et à 22 kilomètres Sud de Montréjeau.

Le climat est doux et constant. La pluviosité d'après A. MOULET est comprise entre 900 et 1 000 mm. de pluie par an. La saison pluvieuse principale couvre trois mois : avril, mai, juin, avec maximum en mai et juin, et l'autre saison pluvieuse est en octobre et novembre. Cette station est abritée du vent par les montagnes du Nord et de l'Ouest.

b - Propriétés physico-chimiques et hydrogéologie

Nous avons déterminé la température, le pH et la résistivité des eaux sur place ; les résultat sont les suivants :

Sources	t.°C.	pH	Q l/m	R. ohms. cm à 18°C	R.S. mg/l à 180 °C (1)	Captage
Lac	17	7	100	555	2086	P.B.
Pré	22	6,7		5500	168	B.
Ste-Marie	17	6,9		570		B.

(1) d'après Dr. A. MOULET

La radioactivité de l'eau de la source du Lac a été déterminé par le Dr. A. MOULET ; elle est de 0,24 m μ c/l à l'émergence.

D'après le graphique, elle est sulfatée calcique et hypothermale, chargée de HCO_3^-, Mg^{++} et de fer.

Les sources sont situées dans une vallée orientée Est-Ouest, recouverte par les dépôts glaciaires. Le griffon de la Source du Lac (Source principale) est capté dans ces formations, au contact des calcaires triasiques. La source ferrugineuse du Pré émerge de l'affleurement des schistes primaires qui affleurent dans la vallée à quelques dizaines de mètres de la Source du Lac. (planche 3).

Les terrains d'émergences des sources impliquent la composition chimique des eaux. L'eau de la source du Lac est très chargée en SO_4^{--} et Ca^{++}. Elle est très peu chargée de Cl^- et Na^+, par contre, les ions Mg^{++} et HCO_3^- ont de faibles teneurs . Le taux de fer pour la source du Pré est beaucoup plus élevé, ce qui peut s'expliquer par la relation avec la pyrite existant.

ANALYSES DE SIRADAN et SAINTE-MARIE

	Source de Lac (2)	Ste Marie (8)
t. °C.	13	16
pH		
R. ohms. cm à 18 °C		590
R.S. à 180 °C mg/l	2024,5	2026,9
Q $m^3/s.$		$1,6.10^{-3}$
Radio-act. m µci/l	$0,9.10^{-3}$	
Gaz	CO_2	
r Ca^{++}	21,6	23,5
r Mg^{++}	4,83	6,1
r Na^{+}	1,5	0,35
r K^{+}		trace
Total cations	27,93	29,95
r Cl^{-}	0,4	0,16
r SO_4^{--}	26,16	26,2
r CO_3^{--}		
r HCO_3^{-}	1,37	2,92
r S^{--}		
r S_2O_3		
r SiO_3^{--}		
Total anions	27,93	29,28
Silice en r SiO_3^{--}		0,5
Fe mg/l	+	+
Oligo-éléments	I, P, Si	
M.O. mg/l	trace	
N° de l'analyse	1	2

II - JURASSIQUE

1/ AULUS-LES-BAINS - (Ariège)

Longitude : 1° 20' 60" Est de Greenwich
Latitude : 42° 47' 30 Nord
Altitude : 776 mètres.

a - Situation géographique et climat

La station se trouve à 33 kilomètres de Saint-Girons, dans une vallée étroite, sur la rive gauche du Cours Gabret. Elle est entourée de hautes montagnes.

Le climat est assez doux, mais avec des variations relativement brusques.

b - Propriétés physico-chimiques et hydrogéologie

Nous avons déterminé : pH, température, et résistivité des eaux sur place :

Sources	t.°C	t. °C d'ambiante	pH	Q l/m	R. ohms cm à 18°C	R.S.mg/l à 180 °C	Captage
Trois Césars	13,5	19	6,9	4	707	2 184,6	G.B.
Nouvelle	16	19	7,1	7	655	1 931,2	G.B.
Baqué	14	19	7,1	5	1340	2 068,4	G.B.
Darmagnac	16	19	7,1	25	590	2 092,8	G.B.

Les eaux sont sans odeur et incolores. Le débit total atteint $6,9.10^{-3}$ m^3/s soit 600 m^3/24 heures (Dr. COMET-CAIVET). D'après le même auteur elles sont radioactives.

On peut cataloguer les eaux d'après le graphique comme des eaux sulfatées calciques, hypothermales, riche en Mg^{++} et HCO_3^- et très peu chargées de Cl^-.

Les sources émergent dans des calcaires, qui, d'après la carte 1/80 000 seraient d'âge liassique recouverts par les alluvions récentes.

La grande quantité de sulfates permet d'établir une relation avec des formations salifères triassiques.

ANALYSE D'AULUS-LES-BAINS

	Darmagnac (8)	Trois César (8)	Bacqué (8)	Nouvelle (8)	Aulus (7)
t. °C	17,6	12,8	15,4	17,8	20
pH					
R. ohms. cm à 18 °C	800	600	1200	740	
R.S. à 180 °C mg/l	2092,8	2184,6	2068,4	1931,2	
Q m^3/s	$0,4.10^{-3}$	$0,06.10^{-3}$	$0,08.10^{-3}$	$0,11.10^{-3}$	
Radio-act. m µci/l					
Gaz					
r Ca^{++}	26,7	28,5	26	24,7	29,39
r Mg^{++}	3,4	2,86	3,4	2,96	4,42
r Na^{+}	0,33	0,26	0,34	0,28	0,19
r K^{+}	0,07	0,07	0,07	0,07	
Total cations	30,52	31,69	29,81	27,85	34
r Cl^{-}	0,062	0,065	0,053	0,05	0,074
r SO_4^{--}	27,8	28,5	27	25,3	30,47
r CO_3^{--}					
r HCO_3^{-}	2,5	3	2,7	2,5	2,1
r S^{--}					
r SiO_3^{--}					
Total anions	30,36	31,56	29,75	28,01	36,1
silice en r SiO_3^{--}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
Fe mg/l	+	+	+ +	+	+
Oligo-éléments	Mn, Li, As, P	Li, Mn, P, As	Mn, Li,As,P	Mn,Li,As,P	Mn,Cu, As
M.O. mg/l					
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

2/ AUDINAC (Ariège)

Longitude :	1°	11'	Est de Greenwich
Latitude :	43°	30'	Nord
Altitude :	500		mètres

a - Situation géographique et climat

Cette station est située à 6 kilomètres Nord de Saint-Girons, au pied des contreforts des Pyrénées dans un vallon dominé par le mont Canivert. Le climat y est doux.

ANALYSES D'AUDINAC

	Source Louise (2)	Louise (7)	Desyeux (2)	Source chaude (2)	Source des Bains (7)
t. °C	21	22	16	21	22,7
pH					
R. ohms. cm à 18 °C					
R.S. à 180 °C mg/l	1 889	1 801	1 882,4	1 885,4	1 983
Q m^3/s				$2,3.10^{-3}$	
Radio-act. mμci/l					
Gaz	CO_2		CO_2	CO_2	
r Ca^{++}	22,2	16,7	21,98	22,39	5,72
r Mg^{++}	6,79	9,07	7,23	6,76	9,02
r Na^{+}	0,25	0,19	0,13	0,14	0,33
r K^{+}					
Total cations	29,24	25,96	29,34	29,3	15,07
r Cl^{-}	0,11	0,17	0,102	0,12	0,08
r SO_4^{--}	24,29	21,4	24,35	24,42	10,02
r CO_3^{--}	4,43	3,95	4,88	4,35	4,24
r HCO_3^{-}		2,3	3,2	3,14	1,3
r S^{--}					
r $S_2O_3^{--}$					
r SiO_3^{--}	0,42	0,19		0,43	0,33
Total anions	29,25	28,01	32,54	32,47	
silice en r SiO_3^{--}					
Fe mg/l	+	+	+	+	+
Oligo-éléments	Li	I, Al	Li	Li	Al
M.O. mg/l		58			42
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

b - Propriétés physico-chimiques et hydrogéologie

Nous avons mesuré la température, le pH, la résistivité de l'eau de la Grande Source. La température de l'eau à l'émergence est de 20°C., le pH par la méthode colorimétrique est de 6,9 et la résistivité à 18 °C. est 580 ohms.cm. Elles sont sans odeur, sans saveur et incolores. Le débit total atteint $4,6.10^{-3}$ m^3/s soit 400 m^3/24 heures .

Elles sont classées comme sulfatées calciques, hypothermales riches en Mg^{++}, HCO_3^- et CO_2 libre.

Les griffons sont situés dans les calcaires dolomitiques du Jurassique, recouverts par les alluvions de la vallée. Comme origine il semble que ce soit une eau superficielle s'infiltrant dans les calcaires, et circulant dans les formations secondaires (triassiques).

3 - BAGNERES-DE-BIGORRE (Hautes-Pyrénées)

Longitude : 0° 8' Est de Greenwich
Latitude : 43° 4' Nord
Altitude : 556 mètres.

a - Situation géographique et climat

La station est située sur la rive gauche de l'Adour, au débouché de la haute vallée de ce cours, adossée aux premiers contreforts pyrénéens. Elle est située à la limite des montagnes et de la plaine.

Le climat y est doux sans changement brusque. D'après C. CHARTRES, les données climatiques sont les suivantes :

La température moyenne en :	été	: 17,7°C.
	automne	: 10,3°C.
	hiver	: 5,3°C.
	Printemps	: 10,3°C.
	moyenne annuelle	: 10,9°C.

La pression barométrique moyenne est de 714 mm. La pluviosité annuelle ; 1 200 à 1 400 mm. répartis sur 100 à 160 jours. Le brouillard y est très rare et pendant la moitié de l'année l'atmosphère est claire.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux.

Parmi les 50 analyses que nous avons pu recueillir, l'étude a permis de n'en retenir qu'une quinzaine. Ont été écartées d'une part les analyses anciennes des sources pour lesquelles il existe des analyses plus récentes ; d'autre part les analyses incomplètes, ou sources ne débitant plus actuellement.

La température des eaux s'échelonne entre 29,5 °C. (Source La Rampe) et 50 °C. (Source Cazaux). Le pH des eaux a été déterminé par R. VIGNES, il est entre 6,6 à 7,55. La température, le débit, la radioactivité, la résistivité le résidu sec des sources ont été déterminés par les Annales des Mines (voir page suivante). Le débit total d'après C. CHARTRES est de 34,7. 10^{-3} m^3/s. soit 300 000 l/24 heures. Elles sont incolores et sans saveur. La radioactivité des eaux est de 1,6 mμci/l (Source Saint-Roch), 18,7 mμci/l (source Le Foulon).

Sources	t °C	pH	Q l/m	R. ohms cm à 18 °C	R.S. mg/l à 180 °C	captage
Groupe de Bagnères :						
Cazaux	50	6,75	60	410		P.4,75 m
Le Dauphin	48,5	6,7	120	490	2 562	G.G. + B
Le Foulon	34	6,9	19	510	2 540,8	B.
Le Platane	31,5	6,8	15	465	2 491,6	B.+F.3,5 m
La Rampe	29,5	7,4	1,6	500	2 522,2	G. 8 + B.
La Reine	46,5	6,6	200	455		G.G. + B.
Roc de Lannes	47,5	7,1	18,5	465		G.G. + B
Saint Roch	45	7,3	6,8	420	2 565	G. 4 + B
Salies	51	6,7	75	410	2 596	P. 6,2 m
Théas	48,4	7	30	430	2 914,8	B.
Le Grand Bain	45,2	7,2	95	500	2 449,6	P. 2,6 m
La Tour	49,2	6,9	165	500		P. 3,7 m
Groupe du Salut :						
Lasserre	23		30	710		P. 1,6 m
Grand Pré	37		18,7	400	2 504	P. 3 m
L'intérieur	32	7,4	200	730	1 800	B.
La Montagne	33,5	7,5	120	750	1 838	G. 6,40 m

ANALYSES DE BAGNERES-DE-BIGORRE

	Salies (2)	La Rampe (1)	Le Platane (2)	Le Platane (1)	Le Dauphin (1)	Grand Bain (1)	St-Roch (1)
t. °C.	50,8	29,5	33,3	31,5	48,5	45,2	45
pH							
R. ohms. cm à 18 °C.		500		465	490	500	420
R.S. à 180 °C mg/l	2596	2522	2491	2491	2562	2449	2565
Q $m^3/s.$		$0,026.10^{-3}$		$0,25.10^{-3}$	2.10^{-3}	$1,6.10^{-3}$	$0,11.10^{-3}$
Radio-act. m μci/l		2,88		6,6	3,6		1,6
Gaz							
r Ca^{++}	28,72	27,8	27,4	27,52	28,79	27,39	28,6
r Mg^{++}	7,17	7,31	6,81	6,9	6,93	6,02	7,07
r Na^{+}	3,35	3,38	3,22	3,33	3,25	3,01	3,29
r K^{+}	0,1	0,13	0,13	0,13		0,12	
Total cations	39,34	38,6	37,56	37,88	39	36,54	38,96
r Cl^{-}	3,2	3,2	3,03	3	3	2,8	3,1
r SO_4^{--}	33,66	32,9	31,83	31,8	33,1	31,6	33,3
r CO_3	1,79		1,85				
r HCO_3^{-}	1,3	1,55	1,35	1,85	1,76	1,8	1,61
r S^{--}							
r $S_2O_3^{--}$							
r SiO_3^{--}	0,72		0,86				
Total anions	40,67	37,65	38,92	36	37,86	36,2	38,01
Silice en r SiO_3^{--}	0,9	1,48	0,8	1,7	1,41	1,42	1,18
Fe mg/l	+	+	+	+	+	+	+
Oligo-éléments	F,As,P	Li	As,F,P	Li	Li	Li	Li
M.O. mg/l	11,9		19,5				
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7

ANALYSES DE GAVERES-DE-BIGORRE

	Le Foulon (1)	Théas (1)	Reine (4)	Roc des Lannes (4)	Grand Pré (4)	Bain de Cazaux (4)	La Montagne extérieure (1)	Salut intérieure (2)
t °C	34	48,4					33,5	34
pH								
R. ohms. cm à 18°C	510	430					750	
R.S.à 180°C mg/l	2540	2914	2754	2760	2780	2958	1838	1800
Q m^3/s	$0,31.10^{-3}$	$0,5.10^{-3}$					2.10^{-3}	
Radio-act.m ci/l	18,7						6,9	
Gaz								
r Ca^{++}	28,53	30,47	30,1	41,3	30,92	28,4	16,5	16,8
r Mg^{++}	6,9	4,7	2,42	7,38	9,73	11,83	1,95	1,75
r Na^{+}	3,15	7,26	6,66	1,2	1,43	1,92	9,6	7,3
r K^{+}	0,13							
Total cations	38,71	42,43	39,18	39,88	42,08	42,15	28,05	25,91
r Cl^{-}	3,1	6	2,43	3,54	3,57	4,56	6,7	8,82
r SO_4^{--}	32,8	32,4	30,4	33,24	29,35	33,2	16,08	14,1
r CO_3^{--}			7,73	3,34	9,64	6,08	5,6	3,67
r HCO_3^{-}	1,58	5,15						
r S^{--}								
r $S_2O_3^{--}$								
r SiO_3^{--}			0,92	0,8	1,02	1,33		1,1
Total anions	37,48	43,55	41,48	40,92	43,58	45,17	28,38	26,59
silice en r SiO_3^{--}	1,4	1,3					0,9	
Fe mg/l	+	+	+	+	+	+	+	+
Oligo - éléments	Li							
M.O. mg/l								18
N° de l'analyse	8	9	10	11	12	13	14	15

c - Hydrogéologie de Bagnères-De-Bigorre

Les griffons des sources thermales émergent au pied des Monts Olivet et Bédat. La plupart des sources sont captées dans les galeries ou les puits, parfois au contact des terrains alluvionnaires de la vallée de l'Adour et des calcaires secondaires (Jurassique).

Les coupes faites par M. LABOUYRIE montrent le terrain d'émergence et les failles qui favorisent l'émergence des eaux thermales de la profondeur. (Voir planche 28).

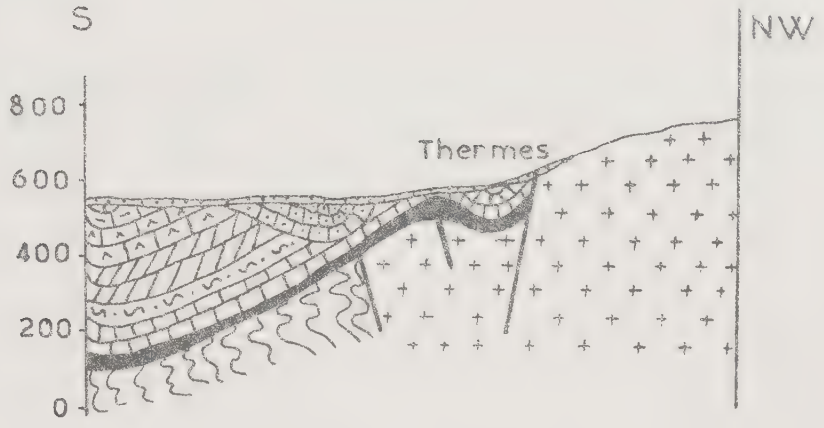
Le caractère chimique des eaux et leur minéralisation indiquent la relation avec les formations du Trias (marnes et gypse). Les sources situées dans la vallée de Salut, émergent à la limite des calcaires et schistes du Crétacé et des terrains jurassiques.

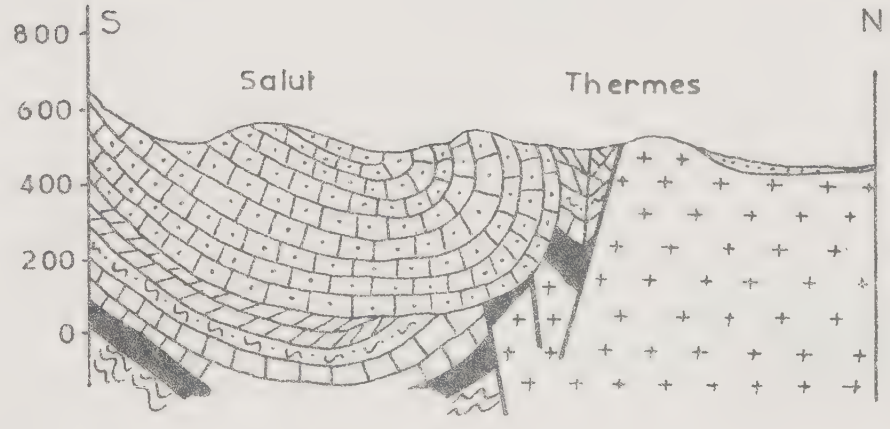
L'origine de deux groupes de sources de l'Etablissement thermal situé en ville et les sources de la vallée de Salut d'après leurs caractères et la géologie de la région est unique, cependant on note quelques différences entre les deux groupes : les eaux du groupe du Salut montrent de plus grandes quantités de Cl^-, Na^+ et K^+. Celles du groupe de Bagnères, plus chaudes, sont plus aussi chargées en SO_4^{--} et Ca^{++}, le point de saturation des sulfates étant atteint. L'explication de ces différences peut être donnée par la situation géologique. Au cours de leur trajet, les eaux du groupe du Salut en contact avec le Trias profond se sont mis en équilibre avec les terrains salifères en fonction des conditions thermiques puis laissent précipiter SO_4 Ca par refroidissement. On remarque des cristallisations de sulfate autour des tuyaux dans les galeries de captage. L'apparence d'une sous-saturation de ces eaux à l'émergence est due également à la réduction des sulfates comme en témoigne la forte odeur de H_2S aux griffons.

Les eaux sont sulfatées calciques, méso et hyperthermales, radioactives, Elles laissent précipiter du Fer au griffons. La silice n'est pas abondante, elle atteint à 1,48 méq/l (Source de la Rampe). Le pH des eaux de Salut a tendance à être plus alcalin que celui de Bagnères, (6,6 Source de la Reine).

BAGNERES-DE-BIGORRES

Pl. 28





Alluvions récentes

Calcaire et Schiste du Crétacé

— de l'Aptien

— noire du Kiméridgien

— dolomitique du Callovo Oxfordien

Marno Calcaire du Lias Sup. et Moy.

Calcaire du Lias inf.

Trias argileux

Granite et Micaschistes

Schistes

Faille

Référence: A. Bouvier

Le résidu sec des eaux est très élevé (10 fois plus grand que pour les eaux sulfurées sodiques de la Chaîne des Pyrénées).

En conclusion, on peut attribuer à ces eaux une origine vadose. Elles se minéralisent au contact du Trias (SO_4^{--}, et Cl^- des marnes) et montent à la faveur des failles (voir les coupes).

III - CRETACE

1/ USSAT-LES-BAINS (Ariège)

Longitude : 1° 37' Est de Greenwich
Latitude : 42° 49' 30" Nord
Altitude : 485 mètres.

a - Situation géographique

Les deux stations d'Ussat-les-Bains sont situées à 22 kilomètres au Sud de Foix et à 3 kilomètres de Tarascon sur les deux rives de l'Ariège dans une gorge étroite.

Le climat est tempéré, sujet à de brusques variations de température, en raison de la direction Nord-Sud de la vallée de l'Ariège.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des eaux s'échelonne de 34 °C. à 38,8 °C. Le pH de l'eau d'après le Docteur ALOY et AUBER est de 7,35 au griffon de FRAXINE. Le résidu sec est de 1 400 mg/l. Elles sont radioactives, d'après

le Docteur ALOY et A. VERSENCQ la radioactivité de l'eau et de gaz est le suivant ;

	t. °C.	radon en mμ. ci/l d'eau
Griffon n° 1	38	4,16
Griffon n° 2	36,2	3,55

Radon en millimicrocuries par litre de gaz sec à 0°C. et sous pression 760 mm est de 28,23.

La source Fraxine est captée dans des galeries et il existe un puits de 6 mètres de profondeur (Source Saint-Germaine) sur la rive gauche de l'Ariège.

Les eaux sont limpides, onctueuses au toucher, inodores. Elles laissent dégager des gaz N (20 c c. par litre), et 18 c c. par litre d'oxygène et CO_2. Le débit total d'après le Docteur DEGUIRAL (ann. de la Fédération pyrénéenne) atteint $16,2.10^{-3}$ m^3/s. soit 1 400 000 l/24 heures. La silice y est de 1,6 méq/l.

ANALYSES DES EAUX D'USSAT-LES-BAINS

	Fraxine (13)	Grand Etablissement (Fraxine) (2)	Fraxine (8)	Fraxine (7)	Saint Vincent (2)	Saint-Germaine (8)	Bain d'Ussat (7)
t. °C	37,8	38	38,8		36	34	
pH	7,35						
R.ohms.cm à 18 °C			825			665	
R.S. à 180 °C mg/l	142,8	1130,4	1428		1131,3	1348	
Q m^3/s		9.10^{-3}				$0,56.10^{-3}$	
Radio-act. m µci/l			4,16				
Gaz		CO^2		CO^2,N,O			
r Ca^{++}	15,4	13,11	15,49	14,14	14,26	16,4	10,1
r Mg^{++}	4,2	3,274	4,25	3,44	3,58		5,31
r Na^{+}	1,29	0,97	1,3	1,54	1,35		
r K^{+}	0,15	0,14	0,15	0,23	0,15		
Total cations	21,04	17,49	21,19	19,35	19,34		
r Cl^{-}	0,71	0,76	0,71	0,44	1,35	0,63	0,37
r SO_4^{--}	16,53	13,84	16,5	14,35	15,54	15,4	9,3
r CO_3^{--}	3,8	2,912		4,56	1,85		5,74
r HCO_3^{-}		2,1	3,8				
r S^{--}							
r $S_2O_3^{--}$							
r SiO_3^{--}					0,65		
Total anions	21,04	17,512	21,01	19,35	19,39		
silice en r SiO_3^{--}	1,6	0,9	1,6		0,32		
Fe mg/l		+		+			
Oligo-éléments		Li, Mn			Li		
M.O. mg/l				47,1			
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7

c - Hydrogéologie d'Ussat-Les-Bains

Les griffons des sources sont situés au pied des montagnes de deux côtés de la vallée de l'Ariège à Ussat. Les griffons de la source principale (Fraxine, rive droite) sont captés dans le calcaire et les griffons des sources de la rive gauche sont captés dans les alluvions de l'Ariège au pied des calcaires crétacés (Urgo-aptien). (Voir la carte géologique planche 5).

Elles sont classées comme sulfatées calciques, mésothermales fortement radioactives.

Les travaux de ALOY, VALDIGUIE et AUBER montrent la relation entre les crues de l'Ariège et le débit des sources sans que la composition chimique en soit notablement modifiée. Pour éviter les variations brusques du flux par l'Ariège, l'ingénieur FRANCOIS a construit un canal hydrostatique entre l'Ariège et la source Fraxine, il exerce une action régulatrice efficace sur les venues d'eau thermales (voir planche 29).

2 - SALEICH (Haute-Garonne)

Longitude	:	0°	58'	Est de Greenwich
Latitude	:	43°	44' 30"	Nord
Altitude	:	env.	400	mètres.

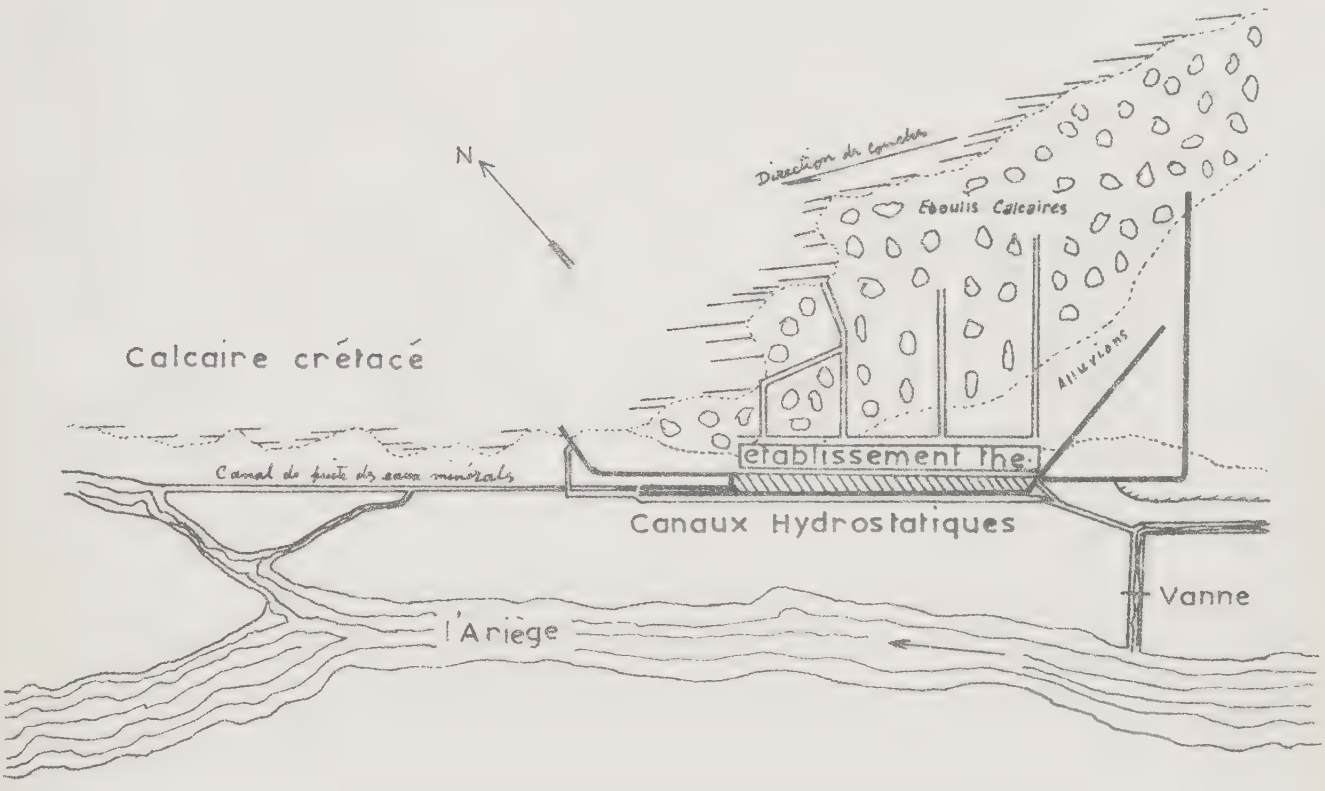
La buvette de la source de Pyrène (Saleich) est situé à 7 kilomètres Nord de Saint-Girons, sur le côté Ouest de la route nationale.

Nous avons déterminé la température de l'eau au griffon, elle est de 14 °C., le pH par la méthode colorimétrique, est de 6,8, la résistivité à 18 °C est 256. ohms. cm. Elle est incolore, sans odeur, et très légèrement piquante. Le débit est environ $0,5.10^{-3}$ m^3/s. Elle laisse précipiter de l'oxyde de fer sur son parcours. Elle est sulfatée calcique hypothermale, riche en HCO_3^- et Mg^{++}.

CAPTAGE DES SOURCES THERMALES

Pl. 29

USSAT-LES-BAINS



0 50 100 m.

échelle

Galerie de distribution

Barrage de ceinture

Référence: L.de Launay

Le griffon de la Source de Pyrène est capté dans les formations alluviales de la vallée recouvrant les calcaires secondaires, particulièrement les calcaires crétacés (urgo-aptien). A quelques mètres du griffon on trouve l'affleurement des calcaires urgo-aptien à filons de calcite.

Ces eaux d'après leurs caractères seraient des eaux vadoses.

ANALYSES DE SALEICH

	Source pyrène (2)	Saleich (7)
t.°C		
pH		
R. ohms. cm à 18 °C.		
R.S. à 180 °C mg/l	859,4	
Q m^3/s		
Radio-act. m µci/l		
Gaz	CO_2	
r Ca^{++}	5,32	8,05
r Mg^{++}	2,8	3,4
r Na^{+}	0,607	0,35
r K^{+}		
Total cations	8,727	11,8
r Cl^{-}	0,077	0,068
r SO_4^{--}	6,05	4,95
r CO_3^{--}		6,7
r HCO_3^{-}	2,67	
r S^{--}		
r $S_2O_3^{--}$		
r SiO_3^{--}		0,77
Total anions	8,797	12,48
silice en r SiO_3^{--}	1	
Fe mg/l	+	+
Oligo-éléments	I,P,Cu,Al	Cu, Mn, Al
M.O. mg/l		
N° de l'analyse	1	2

3/ GANTIES-LES-BAINS (Haute-Garonne).

Longitude : 0° 49' Est de Greenwich
Latitude : 43° 3' Nord
Altitude : env. 400 mètres

La station est située à 12 kilomètres Sud-Est de Saint-Gaudens entre les deux villages de Ganties et Couret.

La température de l'eau de la Source, prise au bassin est de 21 °C. le pH déterminé par la méthode colorimétrique est 7,1. La résistivité de l'eau est 2 760 ohms. cm à 18 °C. Elle est sans saveur, inodore et incolore.

Elle est bicarbonatée calcique riche en silice, et hypothermale.

La source émerge dans les formations de plateau de Lannemezan, formées par les argiles et cailloutis de Pliocène, recouvrant les calcaires de crétacé (urgo aptien), qui affleurent à quelques dizaines de mètres de la station.

ANALYSES DE GANTIES-LES-BAINS

	Ganties (1)	Ganties (2)
t. °C.	21	
pH.		
R. ohms. cm à 18 °C.	2820	
R.S. à 180 °C mg/l		386,4
Q $m^3/s.$	$6,6.10^{-3}$	
Radio-act. m μ ci/l		
Gaz		
r Ca^{++}	4,23	2,1
r Mg^{++}	0,66	0,29
r Na^{+}	0,13	0,13
r K^{+}		
Total cations	5,02	2,51
r Cl^{-}	0,13	0,13
r SO_4^{--}	0,42	0,42
r CO_3^{--}		
r HCO_3^{-}	4,49	1,98
r S^{--}		
r $S_2O_3^{--}$		
r SiO_3^{--}		
Total anions	5,02	2,53
Silice en r SiO_3^{--}	1	1
Fe mg/l	+	
Oligo-éléments		
M.O. mg/l		
N° de l'analyse	1	2

4/ LABARTHE-RIVIERE (Haute-Garonne)

Longitude : 0° 40' Est de Greenwich
Latitude : 43° 4' 40" Nord
Altitude : 400 mètres.

a - Situation géographique et climat

La station est située au pied des Pyrénées, près de la ligne de chemin de fer de Toulouse à Bayonne, à 6 kilomètres à l'Est de Montréjeau et à 41 kilomètres de Bagnères-de-Luchon.

Le climat est doux. La température a été donnée par le Docteur J. DUBARRY est de ;

température moyenne d'été : 19,6 °C.
température moyenne d'hiver: 4,9 °C.
température moyenne d'année : 12,1

La hauteur de la pluie est de 81 cm. La neige est très rare et ne persiste pas. Le brouillard est assez fréquent. L'air est calme et sec, l'absence d'humidité donne à l'air une transparence remarquable (le Docteur J. DUBARRY)

b - Propriétés physico-chimiques et hydrogéologie

La température des sources s'échelonne de 17 °C (Source Julie) à 21 °C.(Source Livie). Le débit total est évalué de $0,34.10^{-3}$ m^3/s, soit 30 m^3/24 heures. Elles sont incolores et sans saveur d'une extrême limpidité. D'après M. DANNE elles sont radio-actives. Le pH de l'eau de la Source de Jouvence est de 7, et la résistivité est de 2280 ohms. cm à 18 °C. La température de cette source consacrée à la boisson est 18 °C à l'émergence.

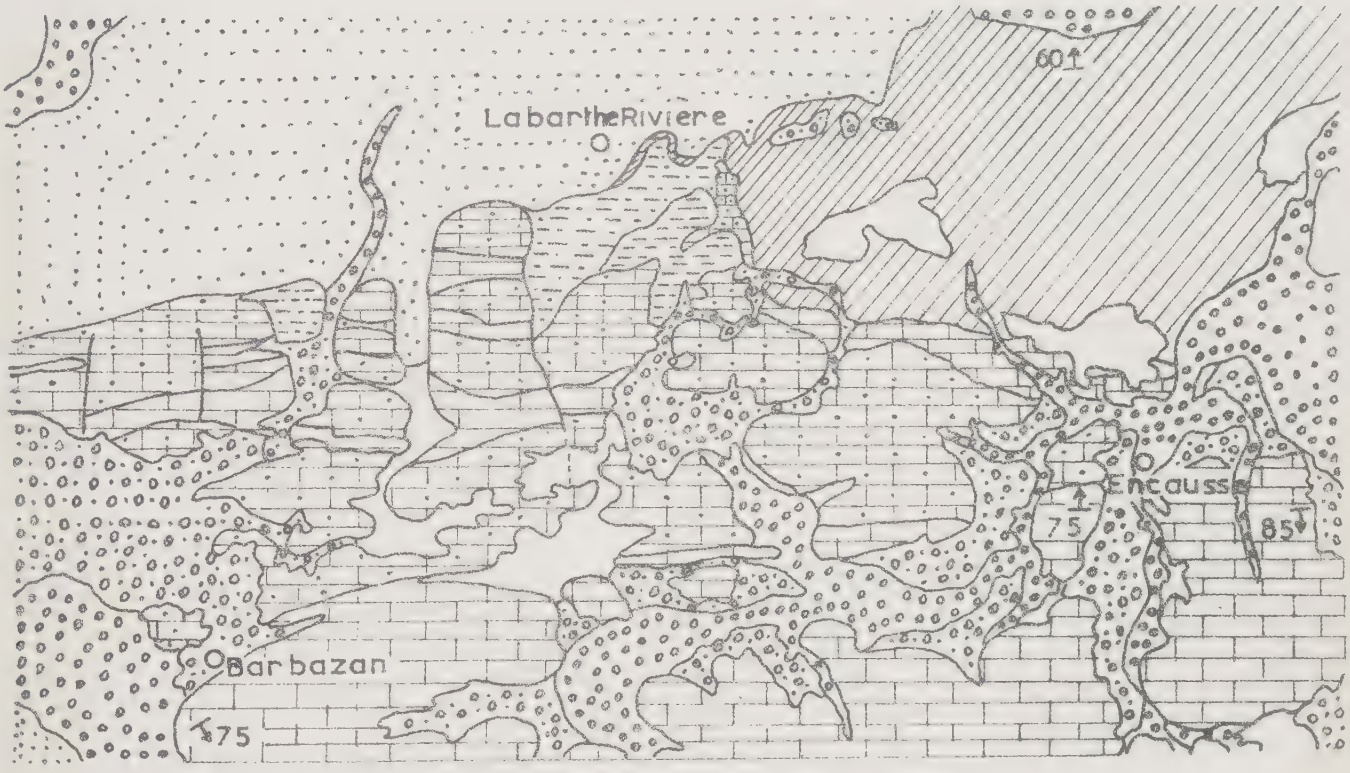
Les eaux ne sont pas très chargées en ions. D'après les graphiques des eaux, elles sont bicarbonatées calciques, sulfatées magnésiennes et hypothermales, de faible teneur en Cl^- et Na^+.

L'émergence des sources se trouve dans les alluvions qui recouvrent les calcschistes du Crétacé cénomanien (voir la carte géologique planche 30). La composition chimique des eaux indique leur relation avec les terrains triasiques et les calcaires du crétacé.

CARTE GÉOLOGIQUE DE

Pl. 30

LABARTHE-RIVIÈRE, BARBAZAN, ENCAUSSE



- Alluvions modernes
- Alluvions anciènes
- Terrasses audessus de Garonne 7-15 m.
- Terrasses de différent niveaux
- Terrasses
- Calcschistes noires Cénomanien Marnes schisteuses
- Albien et Aptien supérieurs
- Calcaire Urgo-aptien
- O Source minérale

Référence : Carte géologique 1/80000 St. Gaudens

ANALYSES DES EAUX DE LABARTHE RIVIERE

	Livie (Labarthe-Rivière) (8)	Labarthe-Rivière (2)	Labarthe-Rivière (14)
t. °C	21	21	
pH			
R. ohms. cm à 18 °C	1 150		
R.S. à 180 °C mg/l	880	891	
Q m^3/s	$0,1.10^{-3}$	$0,3.10^{-3}$	
Radio-act. m µci/l			
Gaz			
r Ca^{++}	8,56	8,54	2,98
r Mg^{++}	8	7,9	2,49
r Na^{+}	0,53	0,52	0,17
r K^{+}			0,12
Total cations	17,09	16,96	5,76
r CL^{-}	0,17	0,17	0,17
r SO_4^{--}	4,5	4,5	5,55
r CO_3^{--}			
r HCO_3	12,4	12,47	0,8
r S^{--}			
r $S_2O_3^{--}$			
r SiO_3^{--}			
Total anions	17,07	17,14	6,52
silice en r SiO_3^{--}	0,3	0,33	0,45
Fe mg/l	+	+	+
Oligo-éléments			Li, Mn
N° de l'analyse	1	2	3

5 - ENCAUSSE (Haute Garonne)

Longitude : 0° 44' 30" Est de Greenwich
Latitude : 43° 3' Nord
Altitude : 360 mètres

a - Situation géographique et climat

La station se trouve à 10 kilomètres de Saint-Gaudens entre Toulouse et Lourdes dans un vaste cirque boisé, au pied des Pyrénées.

Le climat à cause de la température et la pression atmosphérique constantes, n'a pas de variations importantes il est caractérisé par l'absence de vents et de brouillards.

b - Propriétés physico-chimiques et hydrogéologie

Les eaux ont une température de 19,5 à 29 °C. Le pH de la Source de Salomon (Grande Source) déterminé par la méthode colorimétrique est de 7. Elles sont inodores et sans couleur. Le résidu sec y atteint 3 000 mg/l.

La plupart de la minéralisation de l'eau est constituée par les ions SO_4^{--} et Ca^{++}, elle est riche en Mg^{++}. Cependant les ions Cl^- et Na^+ sont relativement mieux représentés que pour la plupart des eaux sulfatés calciques. HCO_3^- reste peu abondant.

L'émergence des sources est sur la rive droite de cours du Job dans des calcaires du crétacé (Albien et Aptien). La Grande Source est captée dans un puits à 11,5 m de profondeur (Voir la carte géologique planche 30).

L'origine des eaux doit être vadose, et la provenance des ions doit être recherchée dans les calcaires et marnes du Trias et du Lias recouverts par les calcaires du crétacé et les alluvions.

ANALYSES DES EAUX D'ENCAUSSE-LES-THERMES

	Grande Source Salomon (1)	Grande Source (7)	Dargut (1)	Dargut (4)	Encausse (2)
t. °C.	29,3	22		22	19,5
pH.					
R. ohms. cm à 18°C.	410				
R.S. à 180 °C mg/l	3070		2968,2		2964,5
Q m^3/s	$0,36.10^{-3}$				
Radio-act. m µ ci/l					
Gaz		N, CO_2, O		N, CO_2, O	CO_2
r Ca^{++}	30,6	31,94	31,59	31,48	29,52
r Mg^{++}	10,4	8,27	7,11	8,06	9,77
r Na^{+}	3,69	5,79	5,78	5,77	6,17
r K^{+}	0,17				0,3
Total cations	44,86	46	44,48	45,31	45,76
r Cl^{-}	4	5,5	4,07	5,5	5,5
r SO_4^{--}	38,2	39,59	38,01	38,97	36,63
r CO_3^{--}		0,91		0,84	3,517
r HCO_3^{-}	3,3		0,86		
r S^{--}					
r $S_2O_3^{--}$					
r SiO_3^{--}					
Total anions	45,5		42,94	45,62	48,33
Silice en r SiO_3^{--}	0,91	0,33	0,4		0,69
Fe mg/l	+	+	+	+	+
Oligo-éléments				As, I	B, P
M.O. mg/l		trace		trace	
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

6 - BARBAZAN (Haute-Garonne)

Longitude : 0° 34' 20 Est de Greenwich
Latitude : 43° 2' Nord
Altitude : 450 mètres

a - Situation géographique et climat

La station de Barbazan est située à mi-chemin entre le village dc même nom et celui de Loures-Barousse, et à 13 kilomètres de Saint-Gaudens, sur la rive droite de la Garonne.

Le climat de la station est intermédiaire entre celui de la plaine et celui de la montagne, car elle est située à l'extrémité d'un vaste cirque formé par les premières contreforts des Pyrénées. D'après P. BERTRAND les caractères climatiques sont les suivants ; température modérée, moyenne barométrique 760 à 762 pendant les mois d'été, état hygrométrique moyen 80°-60°, absence des vents, 115 jours clairs de Mai à Octobre, pureté de l'air due au voisinage des forêts.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des eaux est 20-23°C. Le pH de la Source principale et du forage, déterminé par la méthode colorimétrique, est neutre. Le débit total d'après JADIN est $0,9.10^{-3}$ m^3/s. soit 80 000 l/24 heures. La radioactivité des eaux d'après P. BERTRAND est 0,22 m μ ci/l à l'émergence. La résistivité des eaux déterminée sur place est de 525 ohms. cm à 18 °C pour le forage, et 470 ohms. cm à 18 °C. pour la Source principale. Elles sont sans couleur et sans odeur.

La composition chimique des eaux est constituée par les ions SO_4^{--} et Ca^{++} qui sont prédominants, et en second rang HCO_3^- et Mg^{++}. Les teneurs des ions Cl^- et Na^+ sont proprotionnellement très faibles.

ANALYSES DES EAUX DE BARBAZAN

	Source principale (8)	Barbazan (15)	Etablissement (2)	Saule (2)	Sureau (2)
t.°C.	20,2	19,2	19,6		
pH.		7,2			
R. ohms. cm à 18 °C.	470	469,8			
R.S. à 180 °C mg/l			2038,5	795	910
Q $m^3/s.$	$0,46.10^{-3}$				
Radio-act. m μ ci/l		0,22			
Gaz					
r Ca^{++}	24,7	29,77	24,7	8,08	9,54
r Mg^{++}	6,5	8,22	6,41	3,56	4,01
r Na^{+}	0,41	0,54	0,4	1,04	0,92
r K^{+}		0,033			
Total cations	31,61	38,56	31,51	12,68	14,47
r Cl^{-}	0,15	0,19	0,15	1,04	0,92
r SO_4^{--}	27,4	34,33	27,48	9,66	11,46
r CO_3^{--}		4,05	3,88	1,98	2,09
r HCO_3^{-}	3,9				
r S^{--}					
r $S_2O_3^{--}$					
r SiO_3^{--}					
Total anions	31,45	38,58	31,51	12,68	14,47
Silice en r SiO_3^{--}	0,47	0,73	0,46		
Fe mg/l	+	+	+	+	
Oligo-éléments			I, P	I, P	
M.O. mg/l			trace	trace	trace
N° de l'analyse	1	2	3	4	5

c - Hydrogéologie de Barbazan

Les sources et forages de cette station sont captés au Sud-Est d'un cirque d'alluvions modernes et glaciaires situé à l'Ouest et Nord-Ouest de Barbazan, au contact des calcaires crétacés (Albien et Aptien), (voir la carte géologique planche 30). Le forage de 12 mètres de profondeur, n'atteint pas le calcaire, situées à quelques mètres au-dessous.

Pour l'origine des eaux, on peut penser qu'avant pénétration des eaux dans les alluvions, elles ont circulé dans les calcaires du crétacé et grâce aux accidents tectoniques, elles remontent dans les alluvions qui les recouvrent.

Les eaux sont classées comme sulfatées calciques,hypothermales. Le caractère chimique est dû pour la plus grande part aux terrains triasiques sous le crétacé de cette région.

7 - CAPVERN-LES-BAINS

Longitude :	0°	19 '	Est de Greenwich
Latitude :	43°	6 '	Nord
Altitude :	475		Mètres.

a - Situation géographique et climat

Elle est située à 3 kilomètres au Nord de Capvern au pied des Pyrénées Centrales et au Sud du Plateau de Lannemezan dans un vallon boisé.

Le climat y est doux, entre celui de la montagne et celui de la plaine. Selon le Docteur Daupez les températures saisonnières sont les suivantes ;

printemps	8°C.
Eté	22°C.
Automne	9°C.
Hiver	2,5°C.
Moyenne annuelle	10,4°C.

b - Propriétés physico-chimiques

Nous avons déterminé le pH, la température et la résistivité des eaux sur place :

	t.°C. de l'eau	t.°C ambiante	pH	R. ohms cm à 18 °C	R.S. mg/l à 180 °C. (1)	Captage
Hount-Caoute	24	24	7,1	720	1700,4	C - 65m
Bouridé	24	25	7,1	1085	958,4	B.

(1) d'après ann. des Mines

Elles sont incolores, sans odeur et sans saveur. Le débit de la Source Hount-Caoute est de 25.10^{-3} m^3/s. et celui de la Source Bouridé 18.10^{-3} m^3/s.

ANALYSES DE CAPVERN-LES-BAINS

	Hount-Caoute	Hount-Caoute	Le Bouridé
t. °C	24	24	20
pH	750		1 200
R. ohms. cm à 18 °C	750		1 200
R.S. à 180 °C mg/l	1 700		958,4
Q m^3/s	20.10^{-3}	20.10^{-3}	10.10^{-3}
Radio-act. m µci/l			
Gaz			
r Ca^{++}	17,93	15,9	9,62
r Mg^{++}	6,24	5,7	3,82
r Na^{+}	0,33	1,69	0,2
r K^{+}	0,053	0,053	0,084
Total cations	24,55	23,34	13,72
r Cl^{-}	0,21	1,4	0,13
r SO_4^{--}	37,5	21,72	11,68
r CO_3^{--}			
r HCO_3^{-}	1,48		1,72
r S^{--}			
r $S_2O_3^{--}$			
r SiO_3^{--}			
Total anions	39,19	23,37	13,53
silice en r SiO_3^{--}	0,5	0,3	0,4
Fe mg/l	+		+
Oligo-éléments	As, Cu, Li	As, B, F, I, Cu	As, Cu, Li
M. O. mg/l			
N° de l'analyse	1	2	3

c - Hydrogéologie de Capvern

Les deux sources de Capvern se trouvent à quelques kilomètres de distance l'une de l'autre. Les griffons de ces sources sont captés dans un bassin pour la Source de Hount-Caoute et dans une galerie de 65 m de longueur dans les calcaires crétacés (d'après les Annales des Mines : Sénonien pour la Source de Hount-Caoute et Cénomanien pour Bouridé).

L'eau de ces deux sources est sulfatée, calciques, hypothermales, chargées en silice (0,5 méq/l).

L'eau de Hount-Caoute étant voisine du point de saturation, alors que l'eau de Bouridé est nettement sous-saturée.

L'origine des eaux d'après la théorie du Docteur DELFAU serait due à l'infiltration de l'eau de la Neste dans le sol à travers des terrains perméables, jusqu'à une couche d'argile imperméable ; le griffon de la source est une des branches montantes. En tous cas, les eaux restent suffisamment longtemps en contact avec les formations profondes pour dissoudre en principaux minéraux.

D'après les analyses et la géologie de Capvern, l'origine des principaux éléments chimiques de l'eau doit être les formations triasiques sous-jacentes, dont les affleurements ophitiques et salifères ont été signalés par Jacquot, non loin de là, près d'Avezac à Sud-Est de Capvern.

8 - LES EAUX BONNES (Basses-Pyrénées)

Longitude : 0° 28' Ouest de Greenwich
Latitude : 42° 58' 30" Nord
Altitude : 750 mètres.

a - Situation géographique

La station des Eaux-Bonnes est située à 4 kilomètres de Laruns, sur les bords du Valentin, affluent du Gave d'Ossau, dans une gorge au pied du pic du Gers (2 612 m), qui domine le village, entouré de forêts de mélèzes .

Le village est abrité des vents par des montagnes, ce qui lui donne un climat doux et tempéré. L'air est pur, la température et la pression barométrique sont très stables, la température est 16° à 17° de Juin à Octobre. L'air y est moyennement humide et calme.

Longitude : 0° 28' Ouest de Greenwich
Latitude : 42° 58' 30 Nord
Altitude : 750 mètres

b - Propriétés physiques des Eaux-Bonnes

La température des eaux varie de 12,5 °C (Source Froide) à 32,5 °C (Source vieille).

Les eaux sont claires, limpides et onctueuses au toucher. Leur odeur et saveur sont légèrement sulfurées. Le débit total atteint $0,87.10^{-3}$ m^3/s, soit 75 370 l/24 heures.

Les gaz qui se dégagent contiennent 98,20 % d'azote et 1,80 % de gaz rares (H. LAMARQUE).

D'après MOUREU, les gaz rares sont Argon et Hélium. D'après Morette la radioactivité des eaux est très faible (0,6 m μci/l), avec gaz spontanés (4 m μci/l).

c - Propriétés chimiques des eaux

Nous avons mesuré sur place la température, le pH et la résistivité des eaux ; les résultats sont raportés dans le tableau suivant :

Sources	t. °C d'eau	t. °C ambiante	pH	R. à 18°C ohms.cm	(1) Q m^3/s.	Lieux de prélèvement	(1) Captage
Vieille	32	21,5	7,6	1275	$0,11.10^{-3}$	Buvette	B.
Froide	15	21,5	7,6	1410	$0,21.10^{-3}$	Buvette	G.6.m
Orteig	22	18	7,5	1170	$0,23.10^{-3}$	Buvette	G. 8 m.

(1) Ann. des Mines.

La minéralisation totale atteint 600 mg/l. Le Cl^- représente jusqu'à 30 % de la minéralisation totale, le S^{--} est relativement peu abondant (en moyenne 0,5 méq/l). Elles sont riches en iode. D'après GARRIGOU et LOYER il existe des traces de phosphore, d'arsenic, du fer, du zinc, du cuivre, d'étain, d'argent, de plomb, de l'or et du platine.

La composition des eaux est stable, ce qui assure leur conservation et leur transport.

ANALYSES DES EAUX-BONNES

	Vieille (1)	Vieille (2)	Vieille (3)	Orteig (2)	Orteig (1)	Froide (1)	Froide (2)	Eaux Bonnes (7)
t.°C.	32	32,5		22,8	21	12,8	12,5	
pH.								
R. ohms.cm à 18°	1011				832	1053		
R.S. à 180° mg/l	573,6	573,6		587,3	587,3	505,5	505	
Q $m^3/s.$	$0,66.10^{-3}$				$0,23.10^{-3}$	$0,1.10^{-3}$		
Radio-act. m μ ci/l								
Gaz	N							N
r Ca^{++}	2,3	2,3	2,6	2,43	2,43	2,16	2,16	1,83
r Mg^{++}	0,025	0,02	trace	0,04	0,041	0,058	0,05	0,25
r Na^{+}	5,52	5,52	5,55	5,59	5,56	5,02	5,02	5,85
r K^{+}	0,28	0,28	trace	0,29	0,29	0,18	0,18	
Total cations	8,12	7,82		8,35	8,32	7,41	7,41	7,94
r Cl^{-}	4,9	4,9	4,5	5,1	5,1	4	4,02	5,89
r SO_4^{--}	2,73	2,73	2,6	2,9	2,9	2,66	2,66	1,95
r CO_3^{--}		0,03		trace			0,04	0,19
r HCO_3^{-}	0,029	0,16		0,1		0,039	0,28	0,1
r S^{--}	+	0,5	0,54	0,5	+	+	0,4	0,34
r $S_2O_3^{--}$		0,1		trace				
r SiO_3^{--}			0,51					
Total anions	7,65	8,26		8,5	8	6,69	7,12	8,38
Silice en r SiO_3^{--}	2,08	2,08	1,07	2,2	2,2	1,8	1,5	+
Fe mg/l			+					+
Oligo-éléments	Br, I, Li	Li,As,Br,I	I, B.	Br, I,Li	Br,I,Li	Br,I,Li	As, Li,Br	
M.O. mg/l			48					106
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7	8

d - Hydrogéologie des Eaux-Bonnes

La station des Eaux-Bonnes est située près du contact des calcaires crétacés et terrains dévoniens, au Nord-Est de la station des Eaux-Chaudes. Cette station est sur la bordure d'un lambeau du terrain crétacé, à l'extrémité de la zone axiale des Pyrénées. Le granite visible au Sud de l'Etablissement des Eaux-Chaudes, n'affleure pas aux Eaux-Bonnes (planche 24).

Les griffons des Eaux-Bonnes apparaissent dans les calcaires crétacés, très redressés à quelques dizaines de mètres du Cours de Valentin.

La superposition des terrains secondaires sur les formations primaires confère à l'eau de cette région (cf. § Eaux chaudes) un caractère chimique particulier : les sulfures y sont moins abondants que dans les autres eaux à caractère sulfurée sodique de la chaîne des Pyrénées, mais le Cl^- et SO_4^{--} largement mieux représentés. Il s'en suit une plus forte minéralisation. L. de LAUNAY attribue la présence de Cl^- et SO_4^{--} au voisinage d'un petit bassin triasique au Col de Lurdé au Sud des Eaux-bonnes.

Les eaux émergent au point le plus bas de la vallée du Valentin, après une ascension au contact des terrains secondaires et primaires.

e - Conclusion

Les eaux de cette station cataloguées comme sulfurées sodiques mixtes, montrent une teneur en Cl^- plus forte que les eaux de la station voisine des Eaux-Chaudes. La température des eaux ne dépasse pas 32 °C. Le résidu sec est de 600 mg/l environ. La silice atteint 2,2 méq/l.

Par analogie entre les eaux minéralés des Eaux-Bonnes et les eaux sulfurées sodiques de la zone axiale de la chaîne des Pyrénées et des eaux chlorurées de l'Ouest des Pyrénées, l'origine et la composition de ces eaux sont comme les eaux de la zone axiale, avec en plus, une superposition de la minéralisation secondaire (Cl^- et SO_4^{--}), due aux chevauchements des terrains secondaires sur les primaires de la région occidentale des Pyrénées.

Une étude comparative entre les eaux thermales des Eaux-Bonnes, et des Eaux-Chaudes, montre que les premières sont :

- moins chaudes : température maxima 32 °C au lieu de 36°
- plus minéralisées : 600 mg/l au lieu de 400 mg/l.
- plus chargées en Cl^- et SO_4^{--} : 4 à 5 méq/l au lieu de 1,5.
- moins chargées en silice : 1,5 à 2,2 au lieu de 1,7 à 4,2 méq/l.

L'origine mixte de ces eaux apparaît clairement : riches en sulfure de sodium comme les eaux granitiques, elles présentent cependant une certaine contamination par les terrains secondaires triasiques ou crétacés, dans lesquels elles se refroidissent. En outre la faible teneur en HCO_3^- et CO_3^{--} et la grande quantité des matières organiques tendraient à prouver que dans le cas des Eaux-Chaudes les sulfates ont pu être réduits au moins en partie, engendrant le CO_2 dissous et permettant la mise en solution de CO_3^{--} des calcaires crétacés. Le taux de sulfures est effectivement plus important pour ces dernières

9 - SAINT-CHRISTAU (Basses-Pyrénées)

Longitude : 1° 24' 20" Ouest de Greenwich
Latitude : 43° 6' Nord
Altitude : 320 mètres.

a - Situation géographique et Climat

Le village est situé dans la vallée d'Aspe orientée Nord-Sud, à 8 kilomètres d'Oloron-Sainte-Marie. La station se trouve à Nord-Est du village dans un vallon adossé aux premiers contreforts pyrénéens et à mi-chemin entre Pau et la frontière espagnole.

Le climat est tempéré et doux. La station abritée des vents violents par les montagnes.

b - Propriétés physico-chimiques des eaux

La température des sources est de 12,2 °C (source froide) à 14 °C (des Arceaux). Le pH des eaux est de 7,4 au griffon (méthode colorimétrique). Elles sont sans couleur inodores. Le débit total d'après H. LAMARQUE atteint à $20,2.10^{-3}$ m^3/s. soit 1 850 000 l/24 heures.

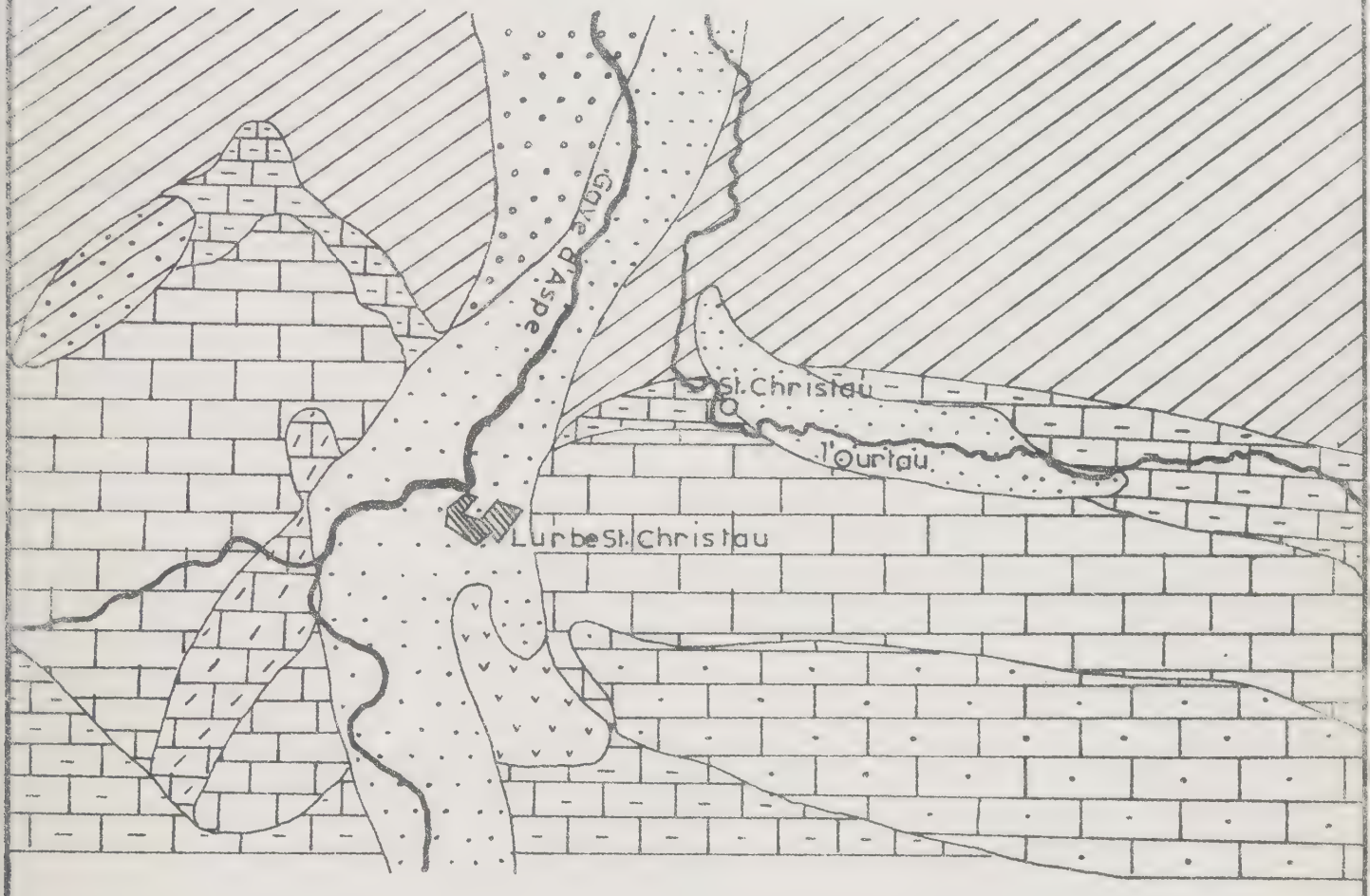
La minéralisation des sources est faible, les ions HCO_3^- et CO_3^{--} sont plus élevés par rapport aux autres ions. Elles sont chargées des oligo-éléments comme l'Arsenir, lithium, et, particularité intéressante, du cuivre à dose pondérable 0,3 mg/l (LAMARQUE).

ANALYSES DES EAUX DE SAINT-CHRISTAU

	Des Arceaux (1)	Arceaux (2)	Bazin (1)	Bazin (2)	Pêcheur (1)	Pêcheur (2)	Source froide (2)
t.°C.	13	14	13,5	12,8	13	13,6	12,2
pH.							
R. ohms. cm à 18°C	3346						
R.S.à 180°C mg/l	274	274	232	232,1	473	473	229,6
Q $m^3/s.$	$2,83.10^{-3}$		$0,025.10^{-3}$				
Radio-act. mμ ci/l							
Gaz		CO_2			H_2S	CO_2, H_2S	CO_2
r Ca^{++}	3,32	3,32	3,2	3,22	5,4	5,42	3,08
r Mg^{++}	0,8	0,7	0,79	0,77	1,85	1,82	0,75
r Na^{+}	0,52	0,659	0,34	0,4	1,36	1,35	0,31
r K^{+}	0,043	0,043	0,046		0,036	0,037	0,035
Total cations	4,68	4,72	4,37	4,39	8,64	8,63	4,17
r Cl^{-}	0,5	0,5	0,21	0,22	0,2	0,2	0,21
r SO_4^{--}	0,33	0,312	0,31	0,32	1,63	1,62	0,23
r CO_3^{--}		2,99		3,03		6,92	2,93
r HCO_3^{-}	2,99	2,16	3,04	2,2	6,36		2,12
r S^{--}							
r $S_2O_3^{--}$						0,027	
r SiO_3^{--}		0,84		0,86		0,5	0,83
Total anions	3,82	4,74	3,56	6,64	8,19	9,27	6,33
Silice en r SiO_3^{--}	0,84		0,86		0,84		
Fe mg/l		+		+		+	+
Oligo-éléments	Cu	Cu, Mn, Li		Cu, P, B		Li, Cu	Li, B, P
M.O. mg/l		17,7		trace			
N° de l'analyse	1	2	3	4	5	6	7

Pl. 31

CARTE GÉOLOGIQUE DE SAINT-CHRISTAU



- Alluvions modernes
- Terrasse moyenne
- Crétacé sup. Flysch
- Calcaire marneux Albien grés et schistes du pays basque
- Calcaire aptien
- Calcaire marneux bathonien bajocien (jurassique)
- Lias sup. et moyn
- Roche en filons dans le crétacé
- Ophite triassique

0 1 2 km

Référence: Carte géologique 1/320000

c - Hydrogéologie de Saint-Christan

Les sources de cette station sont situées au pied du Mont de Binet dans le calcaire du crétacé et les alluvions modernes qui remplissent le vallon de St-Christan. L'eau issue d'une faille dans le calcaire cristallisé, redressé presque verticalement, lors du soulèvement de la masse centrale des Pyrénées (Voir la carte géologique planche 31).

D'après la température et la composition des eaux, P. URBAIN attribue à ces eaux une origine superficielle : l'eau après s'être infiltrée et avoir traversé les calcaires, monte grâce à la faille visible près du bassin des Arceaux.

Elles sont classées comme bicarbonatées calciques, hypothermales, contenant du cuivre. Leur minéralisation en SO_4^{--} est due à la formation triassique qui n'affleure pas à St-Christan.

10 - CAMBO-LES-BAINS (Basses-Pyrénées)

Longitude 1° 24' Ouest de Greenwich
Latitude : 43° 21' 40" Nord
Altitude : 60 mètres.

a - Situation géographique et climat

La station est située à 25 kilomètres de l'Océan, sur un plateau dominant la vallée de la Nive, au pied des montagnes, à l'extrémité Ouest des Pyrénées.

Le climat est doux et tempéré, régulier sans variations de température et de l'état hygrométrique aussi bien l'hiver qu'en été. L'absence presque complète de brouillard donne à l'atmosphère de Cambo sa luminosité.

b - Propriétés physico-chimiques et hydrogéologie

Nous avons déterminé le pH, la température et la résistivité des eaux sur place, les résultats sont les suivants ;

Source	t.°C. d'eau	t.°C. ambiante	pH	R. ohms.cm à 18 °C	Q $m^3/s.$	Captage
Honorine	19	23	7,2	2857	$6,5.10^{-3}$	F. 8,5 m
Ferrugineuse	17	23	6,6	3371		B.

(1) d'après Ann. des Mines.

Les deux sources de Cambo ont des caractères physiques et chimiques différents. La Source Honorine précipite sur son parcours du soufre à l'état colloïdal qui favorise l'existence des matières organiques. Elle est incolore et sans odeur. La source ferrugineuse qui est plus froide que la première laisse précipiter des oxydes de fer dans son bassin.

La Source Honorine est classée comme sulfatée calcique sulfurée calcique accidentelle, hypothermale, riche en Mg^{++}. La source ferrugineuse est classée parmi les bicarbonatées ferrugineuses.

L'émergence des sources est dans les calcaires du crétacé qui sont recouverts par les alluvions de la vallée de la Nive. La composition chimique de l'eau de Honorine explique une réduction des sulfates de l'eau par des terrains traversés (les matières organiques ou tourbes superficielles). L'origine de l'eau d'après ses caractères est superficielle, cette eau a une relation avec les couches triasiques qui affleurent à quelques kilomètres au Sud de Cambo.

ANALYSES DES EAUX DE CAMBO-LES-BAINS

	Source ferrugineuse (2)	Honorine (8)	Source ferrugineuse (2)
t. °C	21,8	22	15,2
pH			
R.ohms. cm à 18 °C.			
R.S. à 180 °C mg/l	2368,8	2600	
Q $m^3/s.$	$0,5.10^{-3}$	$6,5.10^{-3}$	
Radio-act. m ci/l			
Gaz	CO_2, H_2S		CO_2
r Ca^{++}	26,16	26,88	0,468
r Mg^{++}	9,81	10,1	0,188
r Na^{+}	1,07	1,19	0,344
r K^{+}	0,12		
Total cations	37,17	38,17	1
r Cl^{-}	1,9	1,25	0,27
r SO_4^{--}	32,29	33,6	0,104
r CO_3^{--}	2,34		0,218
r HCO_3^{-}	1,7	3	
r S^{--}		+	
r $S_2O_3^{--}$	0,02		
r SiO_3^{--}	0,61		0,508
Total anions	37,87	37,85	1,1
Silice en r SiO_3^{--}		0,4	
Fe mg/l	+	+	+
Oligo-éléments	I,P,Cu,Li,St		
M.O. mg/l	11,3		17,7
N° de l'analyse	1	2	3

C H A P I T R E IV

ESSAI DE SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE

A/ ETUDE DES FACIES HYDROCHIMIQUES

I - ESSAI DE CLASSIFICATION A PARTIR DES DIAGRAMMES ½ LOG

a/ Séquences ioniques

La représentation graphique des analyses des différentes stations précédemment étudiées a permis de distinguer quelques types hydrochimiques fondamentaux, en tenant compte des principaux cations et anions :
Ca^{++}, Mg^{++}, $Na^{+} + K^{+}$ et Cl^{-}, $SO_4^{--} + S^{-} + S_2O_3^{--}$, $HCO_3^{-} + CO_3^{--}$

Cette représentation nous a permis d'établir des séquences ioniques, qui ne tiennent compte que des valeurs absolues des ions. Il est apparu très nettement que les anions sont beaucoup plus importants que les cations par leurs variations, et de ce fait se prêtent mieux à un essai de classification.

On arrive à l'établissement de cinq types hydrochimiques fondamentaux, entre lesquels peuvent s'insérer des types de transition (9 au total), basées soit sur les séquences des cations soit sur celles des anions.

Les stations ainsi étudiées se répartissent de la manière suivante :

I - Bicarbonatée ; Prédominance de HCO_3^- et dégagement de CO_2 gazeuse, les séquences sont les suivantes :

a) $r\,HCO_3^- > r\,Cl^- > r\,SO_4^{--}$

b) $r\,HCO_3^- > r\,SO_4^{--} > r\,Cl^-$,

II - Bicarbonatée sulfuro-sulfatée ; nous avons tenu compte pour cette catégorie de la somme des anions $SO_4^{--} + S^{--} + S_2O_3^{--}$ ne préjugeant pas, ainsi, du mécanisme qui leur a donné naissance. La séquence anionique est :

$r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} > r\,SO_4^{--} + S^{--} + S_2O_3^{--} > r\,Cl^-$

III - La diminution des ions $HCO_3^- + CO_3^-$ entraine la prédominance relative des ions porteur de S^{--}.

$r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} > r\,S^{--} + r\,S_2O_3^{--} > r\,SO_4^{--} > r\,Cl^-$

IV - Chlorurée sulfuro-sulfatée ; dans ce type $H\,CO_3^-$ est le moins bien représenté, d'où les séquences :

a) $HCO_3^- + CO_3^{--} = S^{--} + S_2O_3^{--} = r\,SO_4^{--} = r\,Cl^-$

b) $r\,Cl^- > r\,SO_4^{--} + r\,S^{--} + r\,S_2O_3^{--} > r\,HCO_3^- + CO_3^{--}$

Ces quatre types regroupent l'ensemble des eaux issues des terrains primaires (granite et schiste).

V - Sulfatée ; la nette prédominance des ions SO_4^{--} sur les autres ions caractérise ces types qui ne contiennent plus de sulfures et dont les teneurs en Cl^- extrêmement variable permettent de faire la transition entre les eaux de terrains primaires et celles se situant dans la couverture secondaire, les séquences sont :

a) $r\,SO_4^{--} > Cl^- > r\,HCO_3^- + CO_3^{--}$

b) $r\,SO_4^{--} > r\,HCO_3^- + CO_3^{--} > r\,Cl^-$

c) $r\,HCO_3^- + CO_3^{--} > r\,SO_4^{--} > r\,Cl^-$

Entre ces grands types fondamentaux, des termes de transition faisant finalement 9 types hydrochimiques ;

I - Bicarbonaté :

Ia
$$\begin{cases} r\,HCO_3^- + rCO_3^{--} > r\,Cl^- \gg r\,SO_4^{--} \\ r\,Na^+ + rK^+ \gg r\,Ca^{++} > r\,Mg^{++} \end{cases}$$

Ib
$$\begin{cases} r\,HCO_3^- + rCO_3^{--} \gg r\,SO_4^{--} > r\,Cl^- \\ r\,Ca^{++} > r\,Mg^{++} = r\,Na^+ + r\,K^+ \end{cases}$$

II - Bicarbonaté sulfuro-sulfaté :

$$\begin{cases} r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} \gg r\,SO_4^{--} = r\,S^{--} + r\,S_2O_3^{--} > r\,Cl^- \\ r\,Na^+ + r\,K^+ > r\,Ca^{++} > r\,Mg^{++} \end{cases}$$

III - Sulfuro-Sulfaté :

$$\begin{cases} r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} > r\,S^{--} + r\,S_2O_3^{--} > SO_4^{--} > r\,Cl^- \\ r\,Na^+ + r\,K^+ > r\,Ca^{++} > r\,Mg^{++} \end{cases}$$

IV - Chloruré

IVa
$$\begin{cases} r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} = r\,S^{--} + r\,S_2O_3^{--} = r\,SO_4^{--} = Cl^- \\ r\,Na^+ + rK^+ > r\,Ca^{++} > r\,Mg^{++} \end{cases}$$

IVb
$$\begin{cases} r\,Cl^- > r\,SO_4^{--} + rS^{--} + r\,S_2O_3^{--} > r\,HCO_3^- + CO_3^{--} \\ r\,Na^+ + r\,K^+ > r\,Ca^{++} > r\,Mg^{++} \end{cases}$$

V - Sulfaté

Va
$$\begin{cases} r\,SO_4^{--} > r\,Cl^- > r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} \\ r\,Ca^{++} > r\,Mg^{++} > r\,Na^+ + r\,K^+ \end{cases}$$

Vb
$$\begin{cases} r\,SO_4^{--} > r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} > r\,Cl^- \\ Ca^{++} > r\,Mg^{++} > r\,Na^+ + r\,K^+ \end{cases}$$

Vc
$$\begin{cases} r\,HCO_3 + r\,CO_3 > r\,SO_4^{--} \gg r\,Cl^- \\ r\,Ca^{++} > r\,Mg > r\,Na^+ + r\,K^+ \end{cases}$$

Pour l'étude comparative de ces grands types nous avons tracé une diagramme semi-log par type hydrochimique défini, en prenant pour ce faire, les teneurs maxima (voir planches 32 et 33).

b/ Répartition géographique des types hydrochimiques

Les eaux des stations étudiées se répartissent comme suit, dans les cinq types hydrochimiques définis :

Type I

Ia : $r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--} > r\ Cl^- > r\ SO_4^{--}$

1 - Boulou

Ib : $r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--} > r\ SO_4^{--} > r\ Cl^-$

1 - Sorède
2 - Laroque

Type II

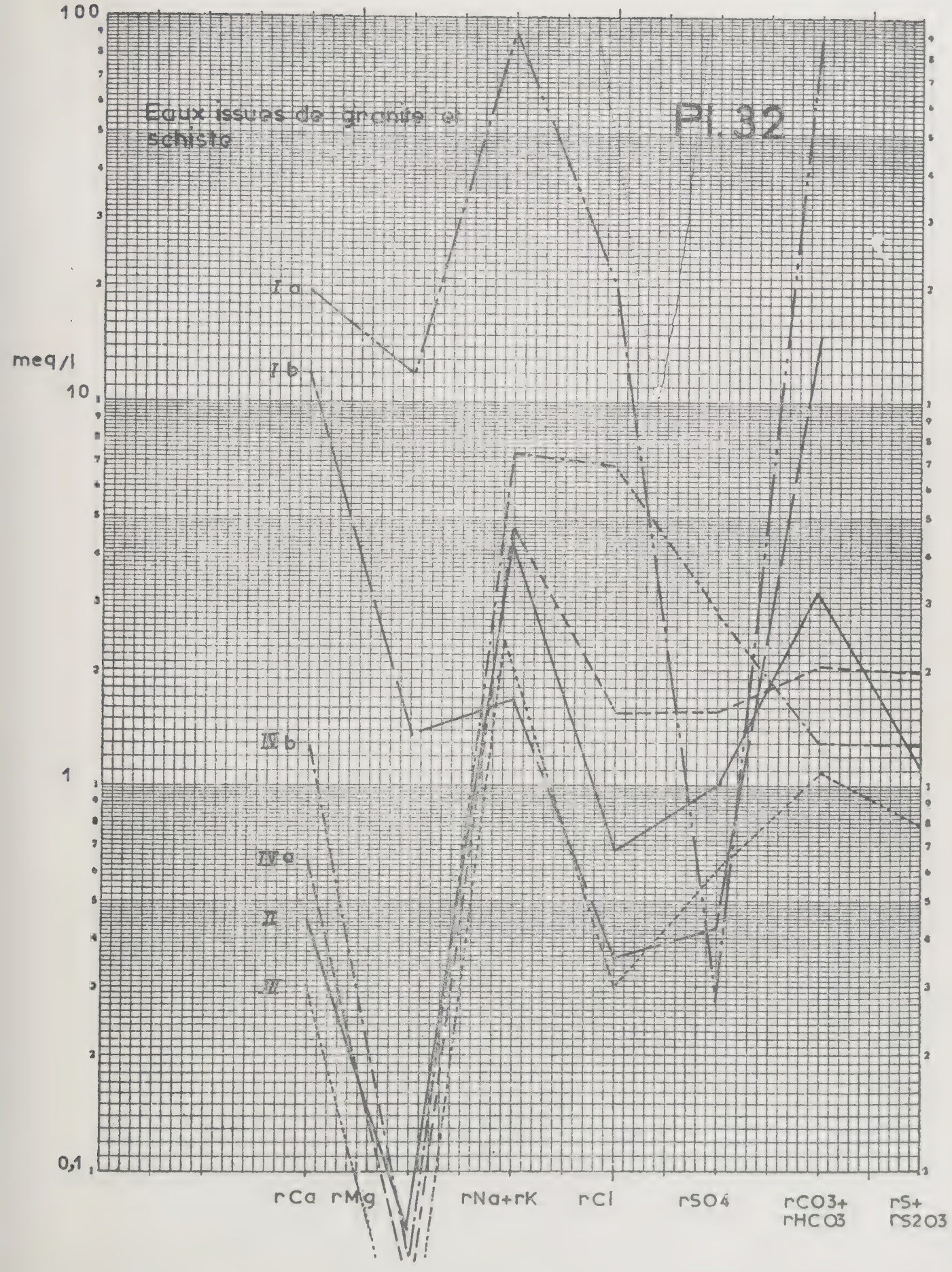
$r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--} > r\ SO_4^{--} = r\ S^{--} + r\ S_2O_3^{--} > Cl^-$

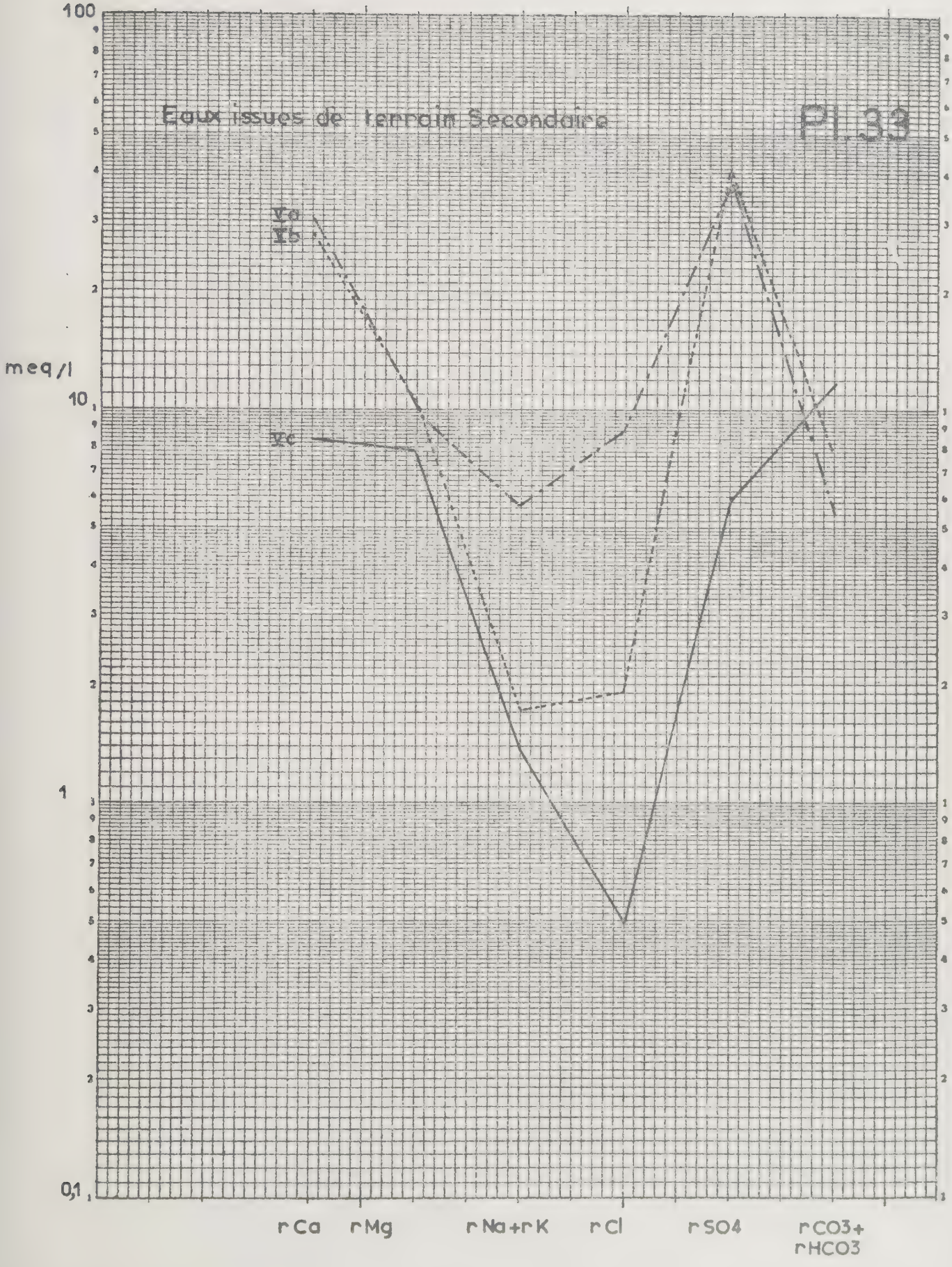
1 - Carcanières
2 - Escouloubre
3 - Amélie
4 - Nossa
5 - Molitg
6 - Mérens
7 - Usson
8 - Ax-les-Thermes
9 - Vernet
10 - La Preste
11 - Canaveilles

Type III

$r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--} > r\ S^{--} + r\ S_2O_3 > r\ SO_4^{--} > r\ Cl^-$

1 - Thues
2 - Saint-Thomas
3 - Escaldes.


Eaux issues de granite et schiste
Pl. 32
meq/l
100
10
1
0,1
I a
I b
II b
III a
II
III
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSO4
rCO3+ rHCO3
rS+ rS2O3


Eaux issues de terrain Secondaire
PL.33
meq/l
100
10
1
0,1
Ya
Yb
Yc
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSO4
rCO3+
rHCO3

Type IV

IV a : $r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--} = r\ S^{--} + r\ S_2O_3^{--} = r\ SO_4^{--} = r\ Cl^-$

1 - Bagnères-de-Luchon
2 - Tramzaygues
3 - Loudenvielles
4 - Barèges
5 - Barzun
6 - Saint-Sauveur
7 - Cauterets
8 - Eaux-Chaudes

IV b : $r\ Cl^- > r\ SO_4^{--} > r\ S^{--} + r\ S_2O_3^{--} > r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--}$

1 - Beaucens
2 - Gazost
3 - Labassère
4 - Eaux-Bonnes

Type V

V a : $r\ SO_4^{--} > r\ Cl^- > r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--}$

1 - Bagnères-de-Bigorre
2 - Encausse

V b : $r\ SO_4^{--} > r\ HCO_3^- + r\ CO_3^{--} > r\ Cl^-$

1 - Barbazan
2 - Audinac
3 - Aulus
4 - Siradan
5 - Capvern
6 - Cambo
7 - Ussat
8 - Salles

$$V\,c : r\,HCO_3^- + r\,CO_3^{--} > r\,SO_4^{--} > r\,Cl^-$$

1 - Labarthe-Rivière

2 - Ganties

3 - Saint-Christau

4 - Saleich

II - ESSAI DE CLASSIFICATION D'APRES LES DIAGRAMMES TRIANGULAIRES

Les diagrammes semi log traduisent la composition chimique d'une eau, en tenant compte des concentrations absolues. Il est également intéressant de travailler, sur les valeurs relatives des principaux ions. Les diagrammes triangulaires sont un des modes de représentation de ces pourcentages.

Il a été établi un diagramme pour les principaux cations posant que

- r $(Na^+ + K^+)$ + r Ca^{++} + r Mg^{++} = 100 % des cations

- r $(SO_4^{--} + S^{--} + S_2O_3^{--})$ + r Cl^- + r $(HCO_3^- + CO_3^{--})$ = 100 % des anions. Nous négligeons ainsi dans ces diagrammes d'une part des ions tel que les silicates, et d'autre part, nous ne faisons pas apparaître comme les diagrammes $\frac{1}{2}$ log la distinction entre les ions SO_4^{--} et S^{--} + $S_2O_3^{--}$. Nous avons fait aussi un diagramme avec SO_4^{--} seul (planche 35).

Le diagramme (planche n° 34) montre la répartition des compositions anioniques des sources du Primaire.

Les eaux du Primaire présentent une très grande dispersion, mais nous pouvons remarquer une évolution progressive portant des eaux franchement bicarbonatées vers les eaux chlorurées - sulfatées sans rupture nette entre les types. Exception des trois stations des Eaux-Bonnes, des Eaux-Chaudes et Cauterets se localisent dans la zone de HCO_3^- < 1 %. Pour une d'entre-elle (cauterets) les analyses ne montrent pas les bicarbonates. Nous ne pouvons pas attribuer de valeur sûre à ce point, cependant il est fort probable que ces eaux ne possédent que très peu d'ions HCO_3^-. Pour les deux autres stations, elles définissent une origine différente, puisqu'elles sont issues des terrains secondaires, c'est ce que confirme la répartition géologique des stations.

1 - Anions

a/ Eaux des terrains primaires : Plusieurs types peuvent être distingués suivant ;

- la proportion relative des ions $H CO_3^-$ et CO_3^{--} ;

1 - r HCO_3^- + r CO_3^{--} > 75 % type I

2 - r HCO_3^- + r CO_3^{--} compris entre 50 % et 75 % type II

3 - r HCO_3^- + r CO_3^{--} < 50 % types III et IV

- les rapports r (SO_4^{--} + S^{--} + $S_2O_3^{--}$)/r Cl^- :

1 - r SO_4^{--} + r S^{--} + r $S_2O_3^{--}$ / r Cl^- compris entre 5,5 et 2,9
sous type "a" défini par le triangle AOB II a
III a

2 - r SO_4^{--} + r S^{--} + r $S_2O_3^{--}$ / r Cl^- compris entre 2,9 et 1 sous-type "b" défini par le triangle B O C au-dessus de HCO_3^- > 40 % ;
II b.
III b.
sous-type "c" pour r HCO_3^- < 40 % III c.

3 - r SO_4^{--} + r S^{--} + r $S_2O_3^{--}$/Cl^- < 1 IV

b/ Eaux des terrains secondaires ; (planche n° 36). Le diagramme montre la répartition de la composition anionique des sources des terrains secondaires en deux groupes ; Va correspondant au pôle HCO_3^- + CO_3^{--}, et Vb au pôle SO_4^{--}. La proportion des ions HCO_3^- et CO_3^{--} dans les deux groupes est :

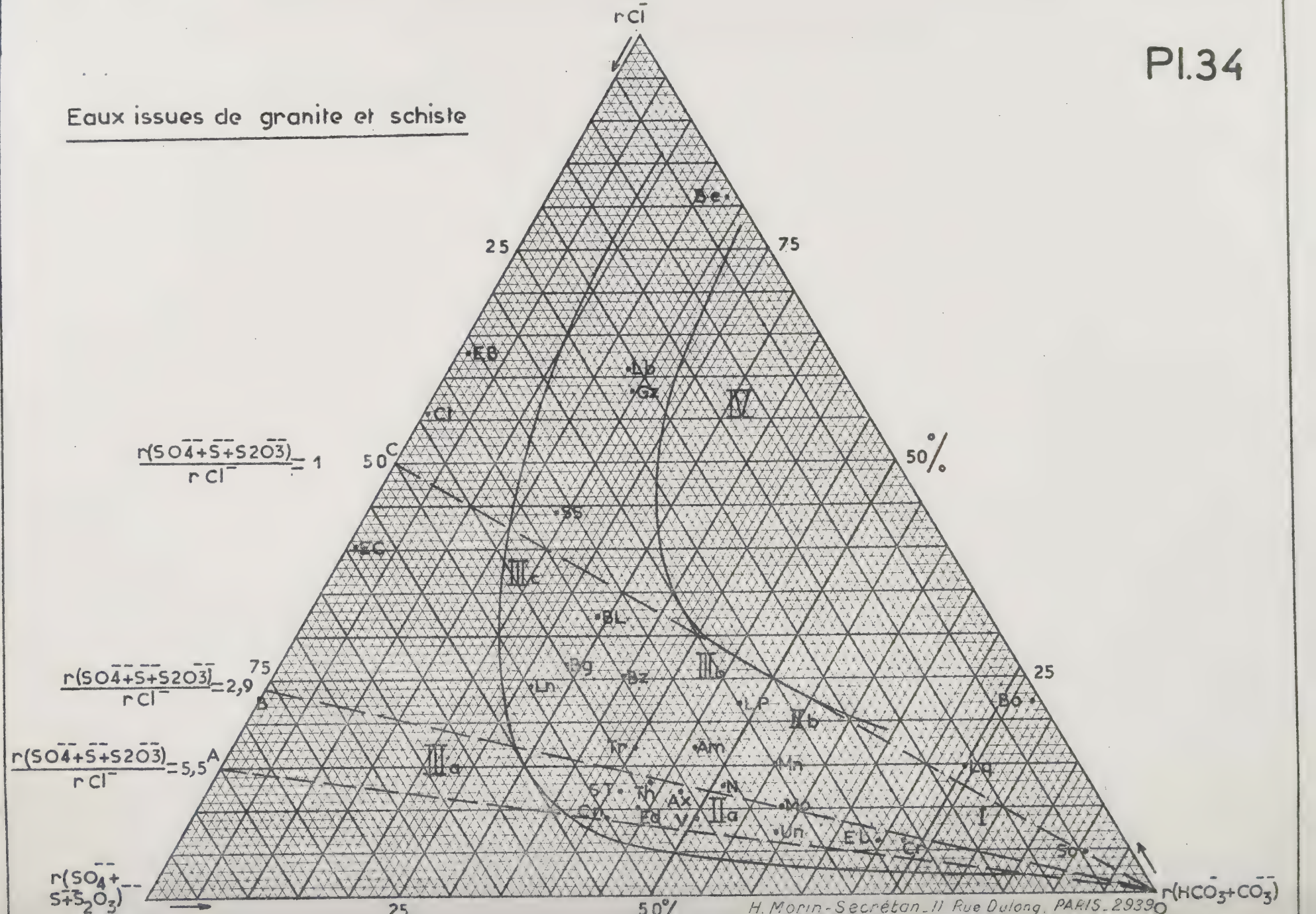
$H CO_3^-$ + CO_3^{--} > 57 % groupe V a

SO_4^{--} > 79 % groupe V b.

Le rapport r SO_4^{--}/ r Cl^- est très élevé pour ces eaux, 9 < r SO_4^{--}/r Cl^- < 99

Ces subdivisions permettent de regrouper les eaux à chaque groupe de la façon suivante (voir pages suivantes).

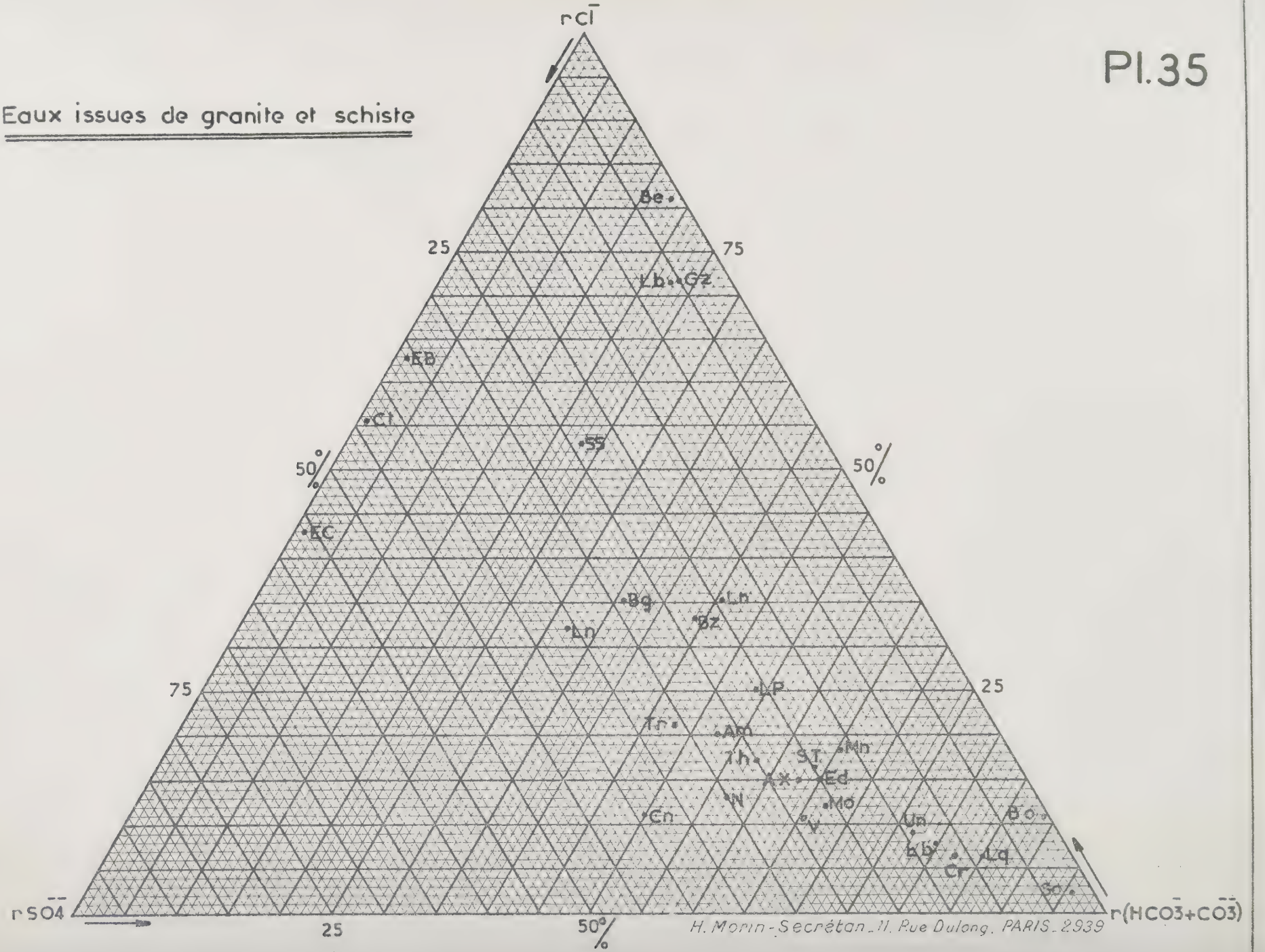
Eaux issues de granite et schiste



H. Morin-Secrétan_11 Rue Dulong, PARIS_2939

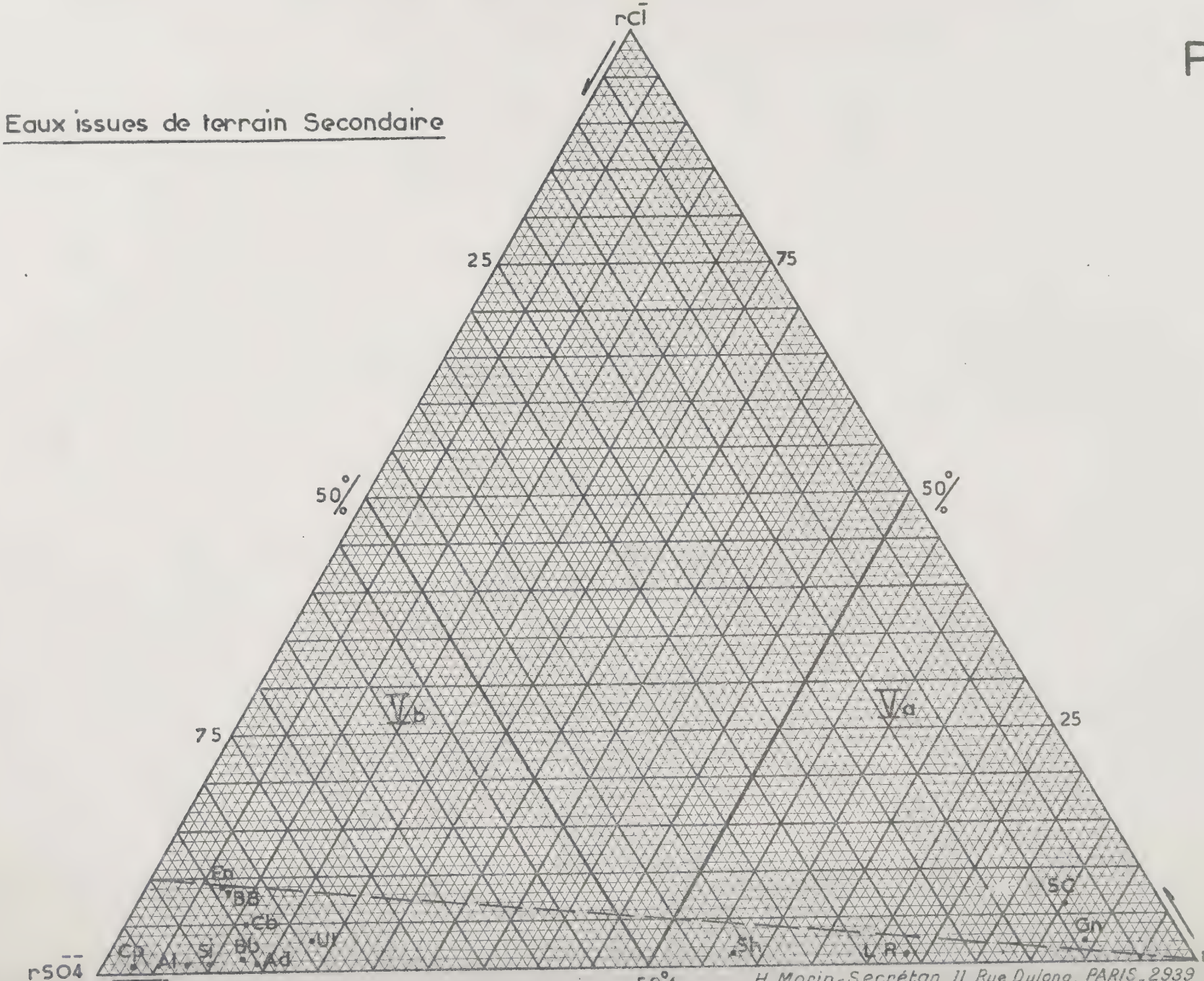
Pl.35

Eaux issues de granite et schiste



H. Morin - Secrétan - 11, Rue Dulong, PARIS - 2939

Eaux issues de terrain Secondaire



H. Morin-Secrétan - 11, Rue Dulong, PARIS - 2939

Séquences :

- $HCO_3 > 70\ \%$ — I
  - HCO_3-Cl-SO_4 : Le Boulou
  - HCO_3-SO_4-Cl : Laroque-Sorède
- $HCO_3 > 50\ \%$ — II
  - II a : HCO_3-SO_4+S+S_2O_3 - Cl
    - Carcanières
    - Escouloubre
    - Usson
    - $5{,}5 > SO_4+S+S_2O_3/Cl > 2{,}9$
  - II b
    - Molitg
    - Mérens
    - Nossa
    - $1 < SO_4+S+S_2O_3/Cl < 2{,}9$
- III
  - SO_4+S+S_2O_3-HCO_3-Cl
    - III a : $HCO_3 < 50\ \%$
      - Thues
      - Saint-Thomas
      - Canaveilles
      - Escaldes
      - Vernet
      - Ax
      - $5{,}5 > SO_4+S+S_2O_3/Cl > 2{,}9$
    - III b : $40\ \% < HCO_3 < 50\ \%$
      - La Preste
      - Amélie
      - $1 < SO_4+S+S_2O_3/Cl < 2{,}9$
  - SO_4+S+S_2O_3 = Cl = HCO_3
    - III c : $HCO_3 < 40\ \%$
      - Tramzaygues
      - Barzan
      - Barèges
      - Loudenvielles
      - B. de Luchon
      - Eaux-Chaudes
      - Cauterets
      - $5{,}5 > SO_4+S+S_2O_3 > 2{,}9$
- IV : Cl-SO_4-HCO_3
  - Eaux-Bonnes
  - Beaucens
  - Labassère
  - Gazoste
  - St-Sauveur

V	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	Labarthe-Rivière
		Ganties
	$HCO_3 > 50\ \%$	Saint-Christau
	Va	Saleich
	SO_4-HCO_3-Cl	Barbazan
	$SO_4 > 50\ \%$	Audinac
		Aulus
	V b	Siradan
		Capvern
		Cambo
		Ussat
		Encausse
		B. de Bigorre.

2 - Cations

Deux groupes distincts se forment ; l'un près du pôle Ca^{++} (eaux de couverture secondaire), l'autre près du pôle Na^{+} (eaux du terrain primaire), (voir planches n° 37 et 38).

Pour ce dernier, Na varie entre 68 et 97 %. Les teneurs en Mg sont toujours inférieures à 2,5 %. Quelques exceptions sont à remarquer ; les eaux bicarbonatées de Sorède, Laroque, Boulou sont calciques. Les eaux de Tramzaygues montrent un net enrichissement en Mg, peut être en relation avec le calcaire qui affleure non loin de la Source.

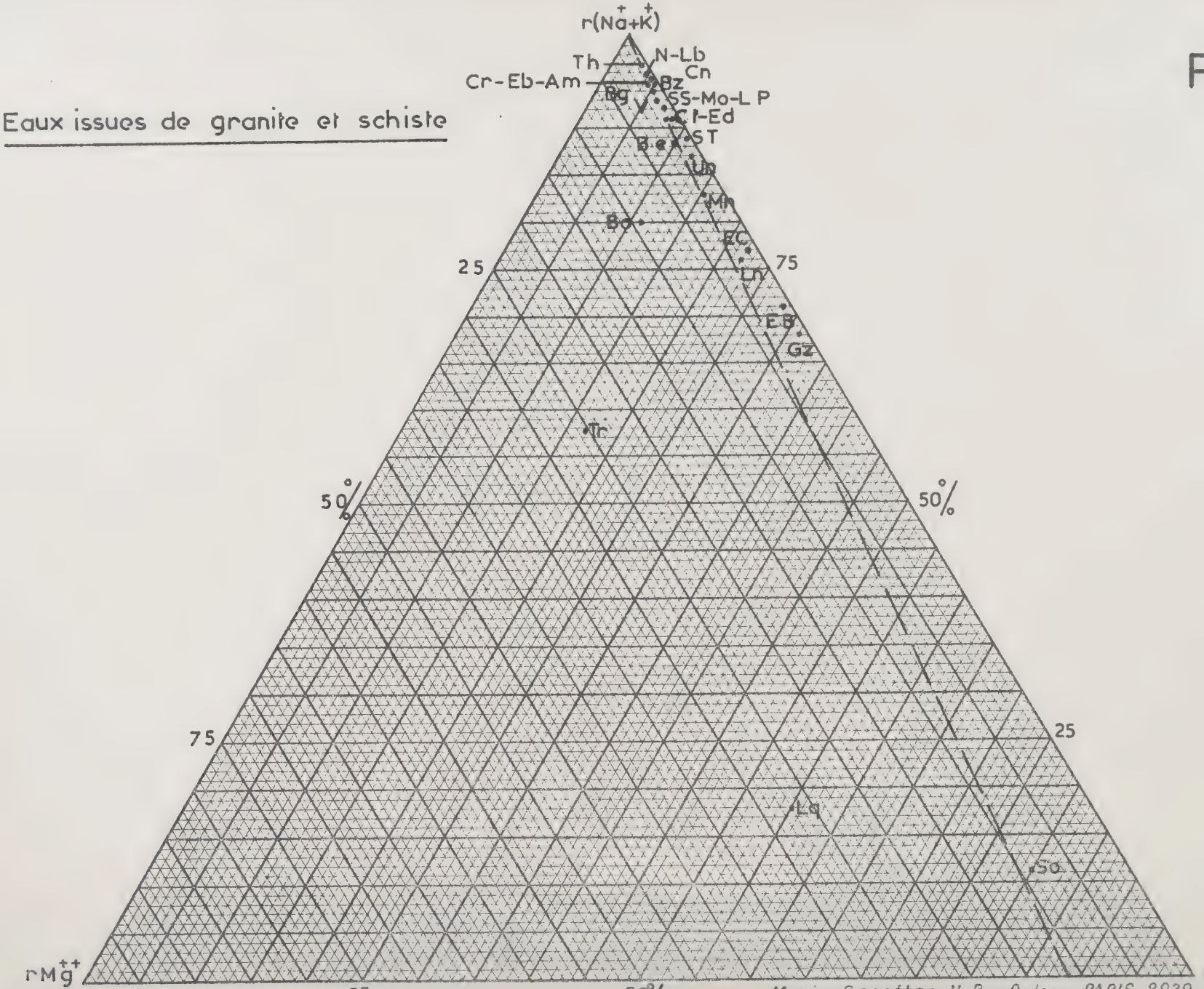
Les eaux de couverture se groupent entre les valeurs extrêmes de 68 à 88 % Ca. Le rapport r Ca/r (Na+K) > 8, ce qui explique la relation intense avec les calcaires.

Les rapports de r Mg/rCa ; les plus fortes valeurs étant peut-être dues au lessivage de la couverture secondaire (calcaires dolomitiques et formations salifères du Trias), le maximum se trouve au Nord de la zone axiale et à l'Ouest : r Mg/r Ca = 0,3 à 0,9.

On observe de grandes différences de ce rapport qui présente de faibles valeurs pour les eaux en relation avec des terrains cristallins (zone axiale) $< 0,36$.

Pl. 37

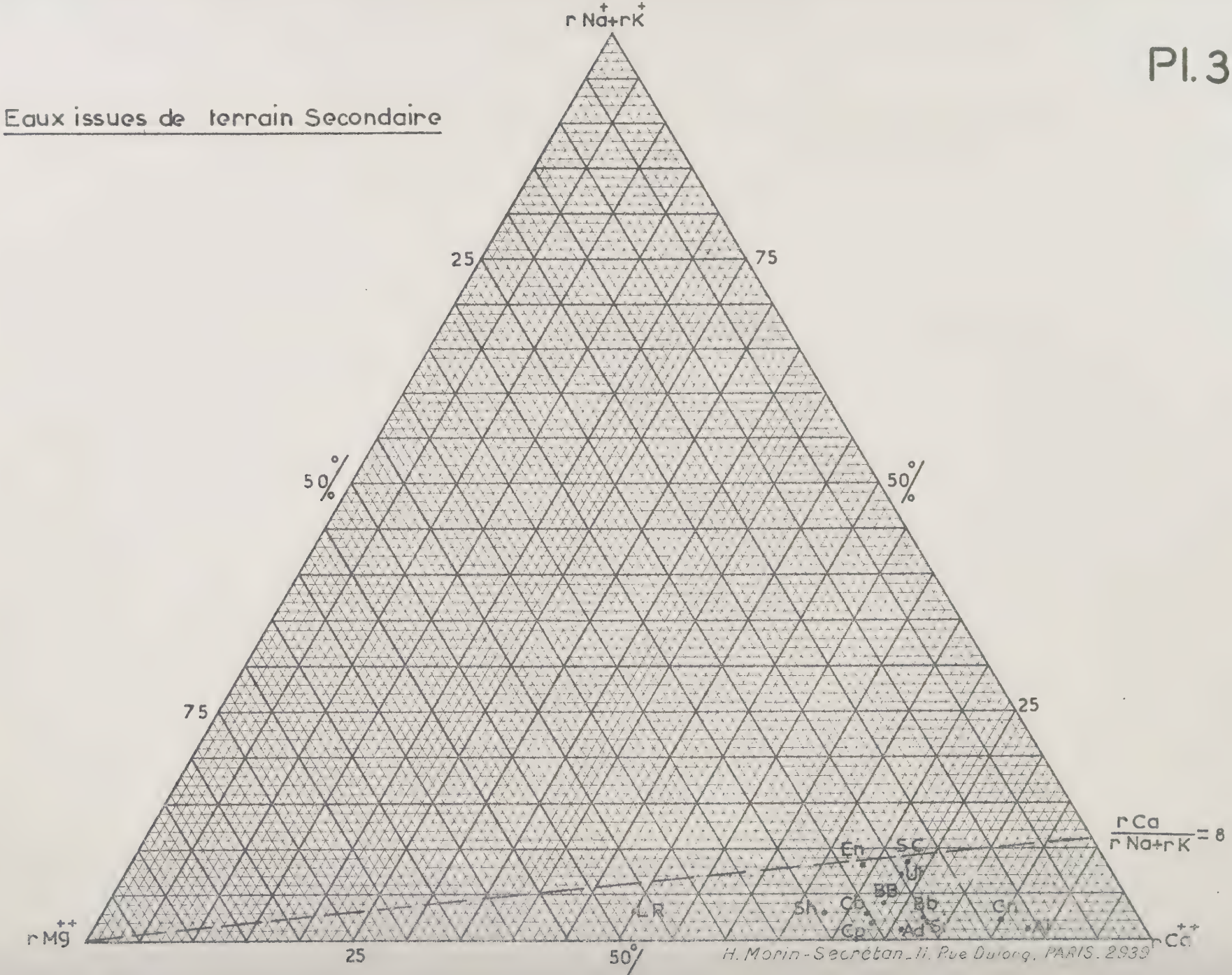
Eaux issues de granite et schiste

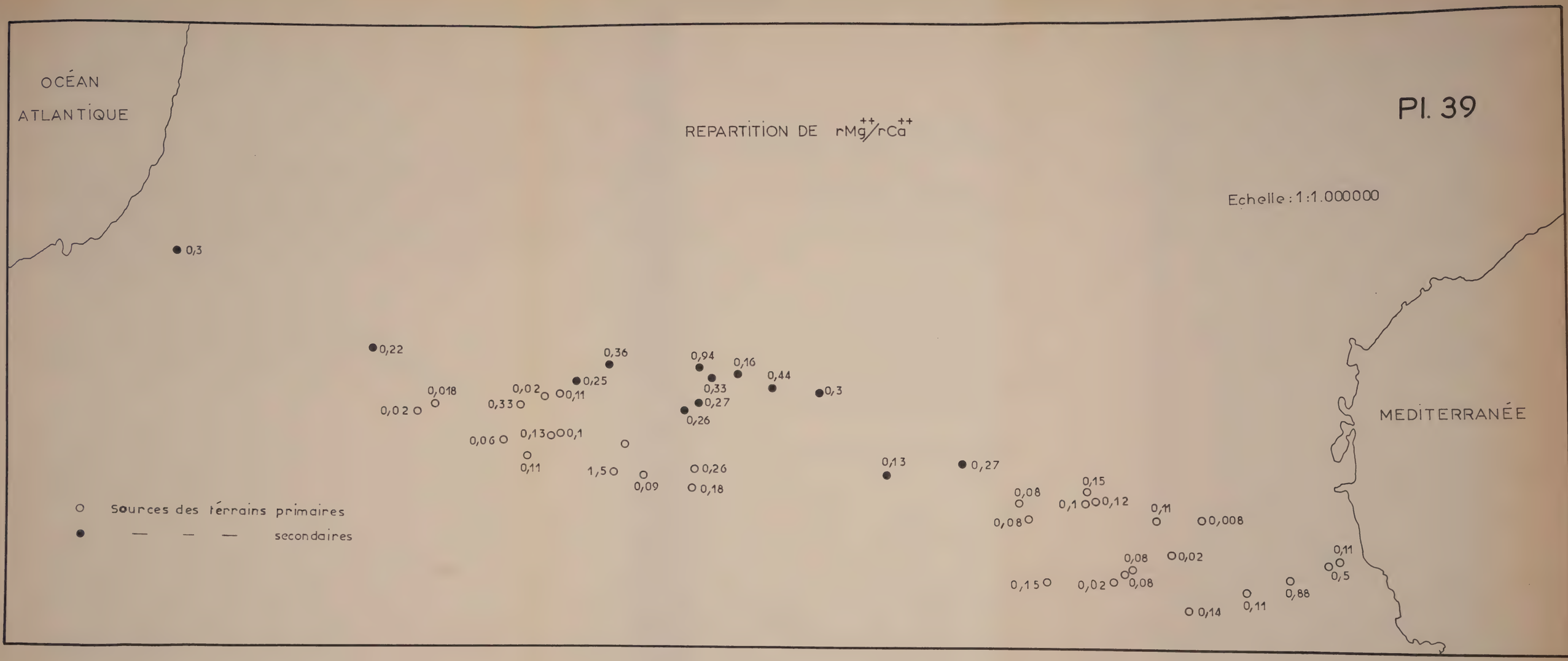


Morin-Secrétan_11. Rue Dulong, PARIS_2939

Pl. 38

Eaux issues de terrain Secondaire




OCÉAN
ATLANTIQUE
REPARTITION DE rMg++/rCa++
Pl. 39
Echelle : 1:1.000000
MEDITERRANÉE
0,3
0,22
0,36
0,94
0,16
0,44
0,25
0,018
0,02
0,11
0,33
0,27
0,3
0,26
0,06
0,13
0,1
0,11
1,5
0,09
0,26
0,18
0,13
0,27
0,15
0,08
0,1
0,12
0,11
0,008
0,08
0,02
0,11
0,5
0,15
0,02
0,08
0,88
0,11
0,14
Sources des terrains primaires
secondaires

Cet essai de classification recoupe à quelques exceptions près, celle basée sur les concentrations absolues loin d'être surprenant, ceci montre qu'il existe réellement une évolution hydrochimique parmi les différentes eaux thermales, et que la minéralisation de ces eaux répond d'un petit nombre seulement facteurs qu'il faudra définir et qui agissent en différentes proportions suivant les conditions géologiques.

- Un facteur générateur de CO_2 et HCO_3
- Un facteur générateur d'ions sulfurées
- Un facteur générateur de sulfates et chlorures.

B/ REPARTITION DES TENEURS ABSOLUES DES PRINCIPAUX IONS

I - ANIONS

1 - $rHCO_3$

a/ Terrains primaires : (planche 40). On peut voir la décroissance générale de la teneur en CO_2 combiné ($HCO_3^- + CO_3^{--}$), de l'Est à l'Ouest ; les teneurs maximales se trouvent à l'extrémité Est, avec nette prédominance pour la station du Boulou (68 méq/l HCO_3^-).

Le groupe Est accuse en grande partie des teneurs > 1 et même voisine de 2.

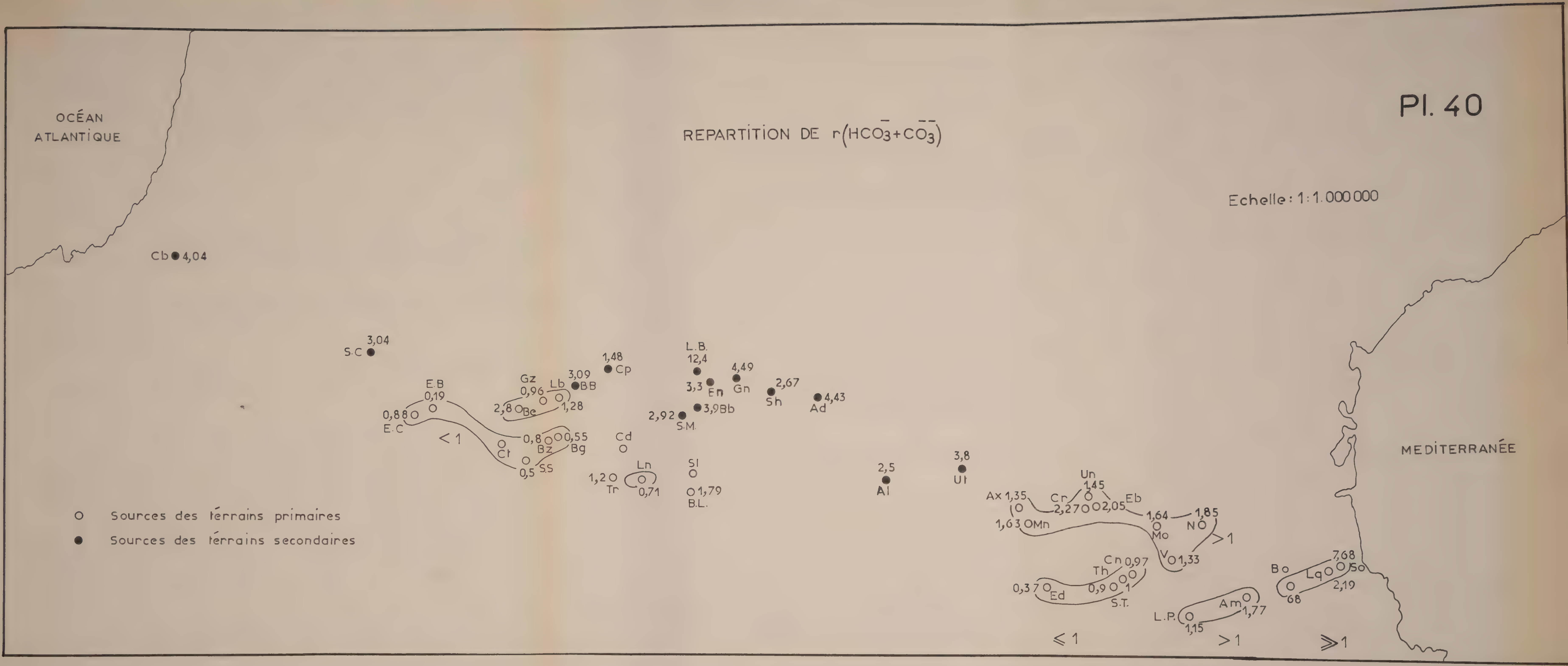
Les valeurs < 1 s'ordonnent en une petite région englobant les stations ; Escaldes, St-Thomas, Thues, Canaveilles, Vernet se trouve à la transition de deux zones. Un maximum > 2 se localise dans la zone Usson-Carcanières-Escouloubre.

Le groupe Ouest, par contre, ne présente, exception faite de Bagnères de Luchon, Tramzaygues et Labassère, que des teneurs < 1, pouvant s'échelonner de 0,19 à 0,96 méq/l. D'une façon générale ces teneurs semblent se grouper en une zone s'allongeant au Sud de celle présentant des valeurs supérieures précédemment citées.

Il ressort donc nettement une évolution du caractère bicarbonaté des eaux de l'Ouest vers l'Est.

b/Dans les terrains secondaires : les teneurs en $H\,CO_3^- + CO_3^{--}$ sont légèrement plus importantes, comprises entre 2,5 et 4,5 méq/l pour 11 stations sur 13.

Cependant, il n'est pas possible de déceler des variations progressives d'Est en Ouest, comme nous avons vu dans les terrains primaires.


Pl. 40
REPARTITION DE r(HCO3- + CO3--)
Echelle : 1 : 1.000 000
OCÉAN ATLANTIQUE
MEDITERRANÉE
Cb 4,04
S.C 3,04
E.B 0,19
0,88 E.C
< 1
Gz 0,96 Lb
3,09 BB
1,48 Cp
2,8 Be 1,28
0,8 0,55 Bz Bg
Ct
0,5 SS
Cd
1,2 Tr
Ln 0,71
Sl
1,79 B.L.
L.B. 12,4
3,3 En
4,49 Gn
2,67 Sh
4,43 Ad
2,92 S.M.
3,9 Bb
2,5 Al
3,8 Ut
Un 1,45
Ax 1,35
Cr 2,27 2,05 Eb
1,63 Mn
1,64 Mo
1,85 NO
> 1
V 1,33
Cn 0,97
Th
0,37 Ed
0,9 1 S.T.
L.P. 1,15
Am 1,77
Bo 68
Lq 7,68 So 2,19
⩽ 1
> 1
≫ 1
Sources des terrains primaires
Sources des terrains secondaires

Seul l'eau de Labarthe rivière est fortement chargée par rapport aux autres eaux, HCO_3^- = 12,4 méq/l. La forte teneur de HCO_3^- peut être imputée à la nature des terrains environnants (calcschistes noirs et marns schisteuses) susceptibles de provoquer une réduction des sulfates et la production de CO_2, qui réagissant sur la calcite des calcschistes et des marns donne naissance à des bicarbonates. Cette hypothèse est confirmée par ailleurs par la faible teneur des ions SO_4^{--} dans ces eaux.

2 - r Cl

a/ Terrains primaires ; (Voir planche 41). Les variations des teneurs en Cl^- sont notables et permettent les remarques suivantes :

Teneur anormalement haute de l'eau de Boulou, soulignant une fois de plus, le comportement particulier de cette station par rapport aux autres émergences thermominérales de la région.

Le groupe Est dans son ensemble est caractérisé par de faibles valeurs de Cl^- qui reste inférieur à 0,53 méq/l.

On note une nette augmentation de l'ion Cl^- dans le groupe Ouest où r $\overline{Cl}$ > 0,51 méq/l, et, à l'intérieur même de ce groupe, une zonalité assez marquée avec une zone d'enrichissement au Nord, correspondant aux eaux dont les émergences sont soit, en relation avec le Crétacé (Eaux-Chaudes, Eaux-Bonnes), soit très éloignés des massifs cristallins de la zone axiale. Cette zone (Gazost, Labassère, Beaucens) correspond également à la zone de chevauchement du Primaire sur Secondaire. Une contamination par les terrains de couverture post-cénomaniens pourrait en être la cause.

b/ Terrains secondaires ; (voir planche 41). La teneur de Cl^- dans les terrains sédimentaires semble être en relation directement avec les formations salifères de la région. On ne peut pas déterminer l'évolution de la valeur de Cl^- dans les différentes directions comme dans les formations primaires. Cependant, on peut signaler quelques stations qui ont une concentration en Cl^- plus forte que les autres ; (Bagnères de Bigorre = 3,2, Encausse = 4, Cambo = 1,9). Les

autres stations ont des valeurs comprises entre 0,06 et 0,71. Il est à noter que les eaux qui sont plus chargées en Cl^- sont relativement plus chaudes par rapport aux autres.

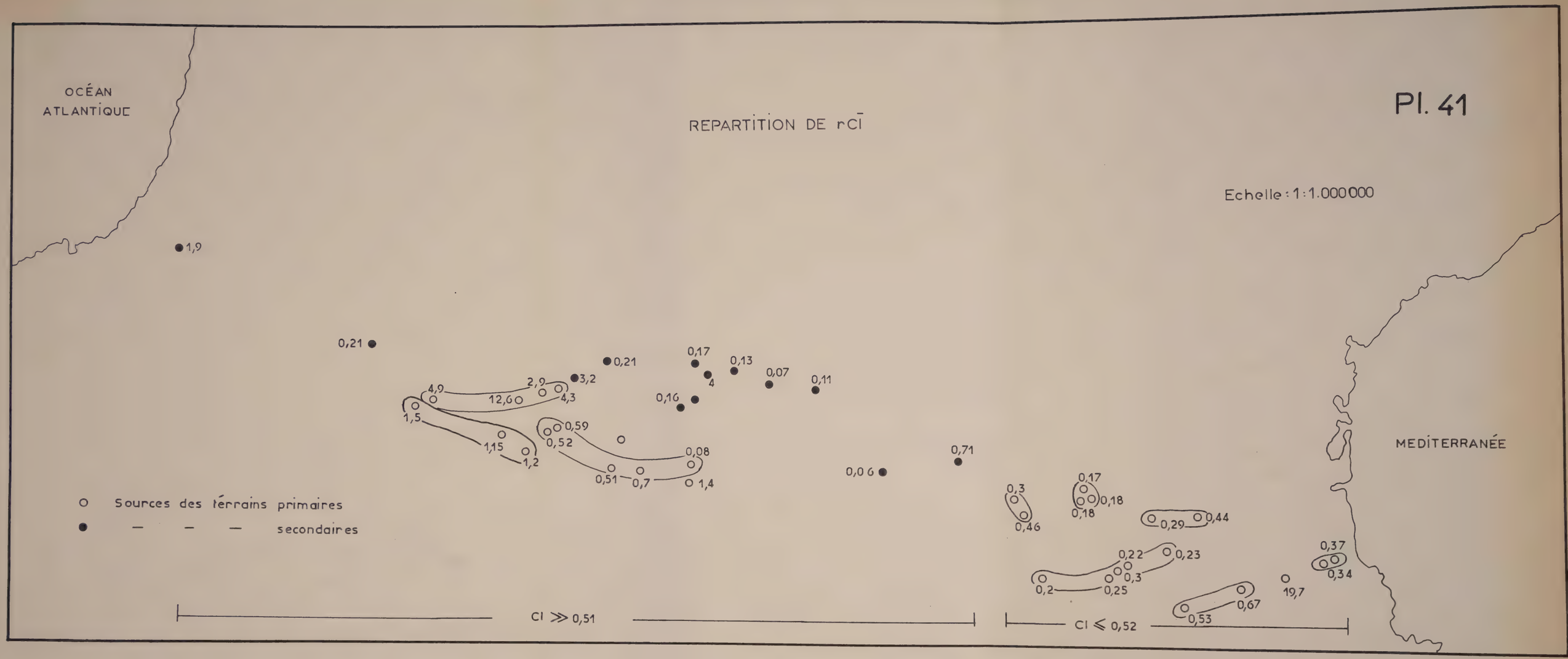
3 - $\underline{r\ (S^{--} + S_2O_3^{--} + SO_4^{--})}$

En général les valeurs absolues de la somme de ces trois ions ne montrent que des variations faibles autour de la valeur moyenne de 1 méq/l environ. Cependant on note une concentration maxima à 2,07 méq/l., et une minima à 0,08. Ces variations ne permettent pas de distinguer très nettement les deux groupes Est et Ouest (planche 42), mais de cerner à l'intérieur de chacun de ces groupes des zones à teneurs maximales ($\gg 1$) et des zones à teneurs minimales ($\ll 1$).

Plus instructives sont les cartes des variations géographiques des teneurs de chacun de ces ions dont nous venons de considérer la somme.

4 - $\underline{r\ (S^{--} + S_2O_3^{--})}$: Terrains primaires ; Il faut signaler l'absence totale de sulfure dans le groupe extrême-Est (Le Boulou, Sorède, Laroque). Pour le groupe oriental, les valeurs maximales caractérisent le groupe Escaldes, St-Thomas, Thues, Canaveilles, Vernet, localisé dans les schises siluriens. Ax, dans le granite et les valeurs minimales ; le groupe issu du granite du Quérigut. Groupe occidental ; les teneurs maximales caractérisent les stations situées dans les schistes dévoniens et silurions : Bagnères-de-Luchon Labassère. Gazost. Les teneurs sont égales à celle du groupe ; Thues, St-Thomas et Canaveilles pour les eaux issues des granites. Enfin on note les faibles teneurs pour les eaux du groupe des Eaux-Chaudes, et l'absence totale pour Salles et Beaucens - (planche 43).

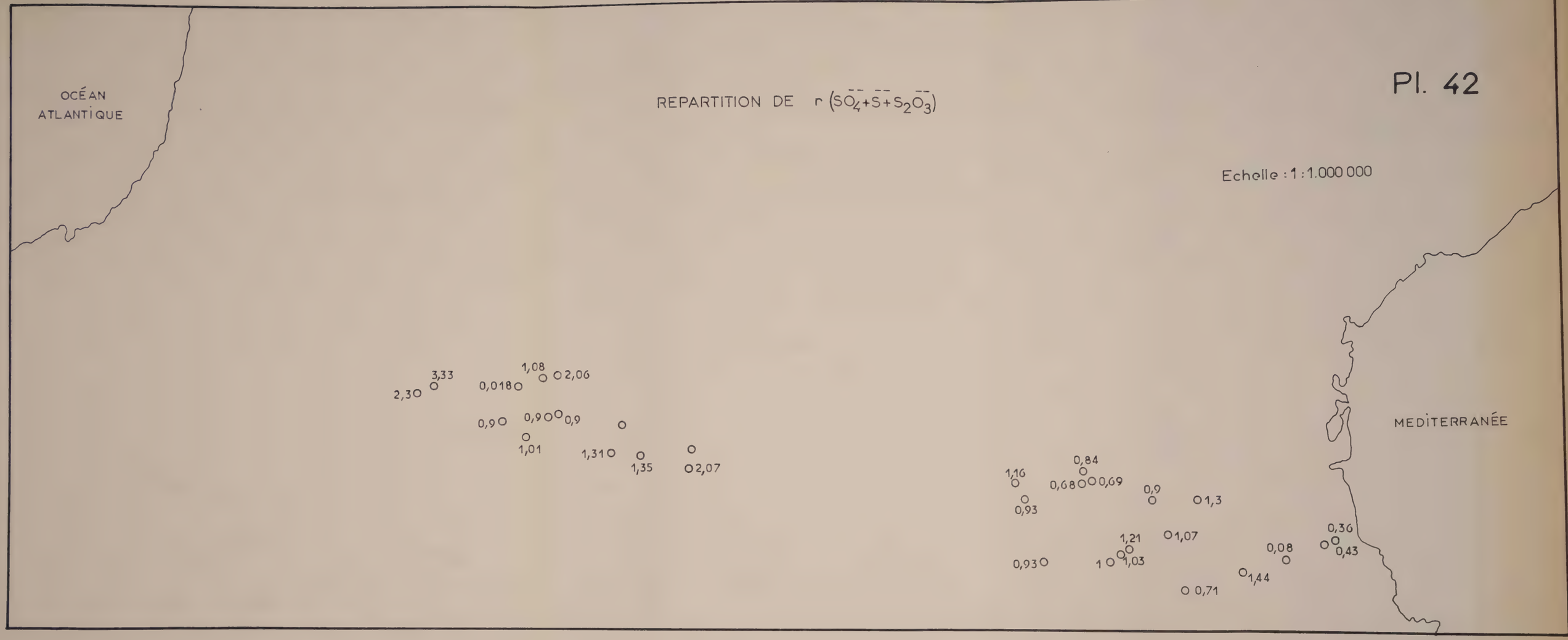
L'origine des ions S^{--} est encore contestée, cependant il est indiscutable que les teneurs maximales sont à rattacher pour les deux groupes oriental et occidental, à la présence des formations sédimentaires primaires (Silurien, Dévonien, Carbonifère). Les eaux dont l'émergence se situent dans les massifs granitiques, semblent en être relativement moins riches, ceci tendrait à donner pour origine, au moins pour une partie du soufre, la nature des terrains de couverture paléozoïques.


OCÉAN ATLANTIQUE
REPARTITION DE rCl⁻
Pl. 41
Echelle : 1 : 1.000000
MEDITERRANÉE
1,9
0,21
0,21
3,2
0,17
4
0,13
0,07
0,11
0,16
4,9
12,6
2,9
4,3
1,5
1,15
1,2
0,59
0,52
0,08
0,51
0,7
1,4
0,06
0,71
0,3
0,46
0,17
0,18
0,18
0,29
0,44
0,22
0,23
0,3
0,2
0,25
0,37
0,34
19,7
0,67
0,53
Sources des terrains primaires
secondaires
Cl ≫ 0,51
Cl ≤ 0,52

Pl. 42

REPARTITION DE $r\,(\overline{SO_4^{--}}+\overline{S^{--}}+\overline{S_2O_3^{--}})$

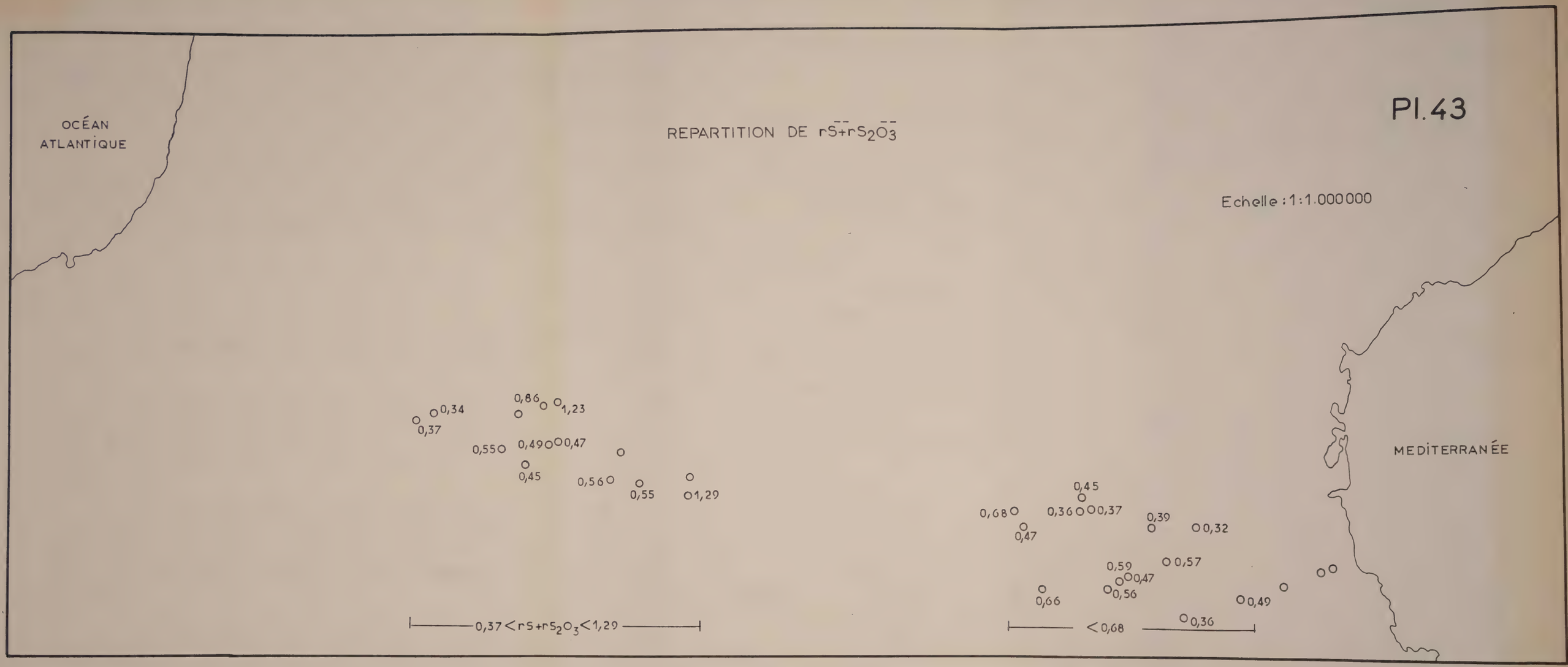
Echelle : 1 : 1.000 000



PI. 43

REPARTITION DE $r\bar{\bar{S}}+r\bar{\bar{S}}_2\bar{\bar{O}}_3$

Echelle : 1:1.000000



D'autre part, on note que les eaux riches en S^{--} et $S_2O_3^{--}$ accusent des pH alcalins (7,6 à 9,3). Les eaux de l'extrême Est de pH acide, sont dépourvues d'ions sulfures ou hyposulfites. On sait que, à de tels pH, les minéraux sulfurés sont stables, alors que pour des pH alcalins, ils passent en solution.

Il n'y existe pas de zonalité Est-Ouest des teneurs en sulfures, mais une relativement bonne concordance avec les terrains d'émergences. On peut penser alors que les sulfures apportés par les eaux issues des terrains granitiques ont été acquis lors de leur parcours descendant, le long de zone de la circulation plus aisée que constituent des contacts de schiste et granite.

5 - r SO_4^{--} :

a/ Terrains primaires ; (voir planche 44). Les teneurs des ions SO_4^{--} ne présentent pas beaucoup de variation le long de la zone axiale.

Dans le groupe Est, on peut voir le point minimal au Boulou (0,08 méq/l), dans la même région les deux Sources de Sorède et Laroque ont des valeurs $\leqslant$ 0,43. Les eaux issues de massif du Quérigut 0,39 méq/l. Les autres sources autour du massif du Canigou et Ax ont des valeurs légèrement plus élevées $\geqslant$ 0,41 méq/l.

A l'extrême Ouest, (les Eaux-Bonnes et les Eaux-Chaudes) les teneurs sont plus élevées $\geqslant$ 1,98 méq/l, ce qui peut être expliquée par une relation avec les terrains secondaires qui chevauchent le primaire de cette région. Dans le même groupe, les valeurs absolues sont plus faibles pour les autres stations.

En résumé, on peut noter une concentration minima à l'Est pour la station de Boulou, et une maxima à l'Ouest pour les Eaux-Chaudes et les Eaux-Bonnes, des teneurs sensiblement constantes entre ces deux extrêmes, pour les deux groupes.

b/ Terrains secondaires ; (planche 44). Les teneurs en SO_4^{--} des eaux de calcaires du Secondaire sont relativement élevées. L'origine de ces sulfates sont évidemment à rechercher dans les terrains salifères du Trias. La teneur moyenne est supérieure 20 méq/l. Le maximum est atteint pour les eaux d'Encausse = 38 et Capvern = 37,5 ce qui suppose l'acquisition de SO_4 au contact des terrains triasiques.

A Labarthe-Rivière la teneur en SO_4 est très faible par rapport aux autres stations, comme nous avons attribué la forte valeur de HCO_3 de cette station probablement à la réduction des sulfates, ceci n'est pas donc étonnant.

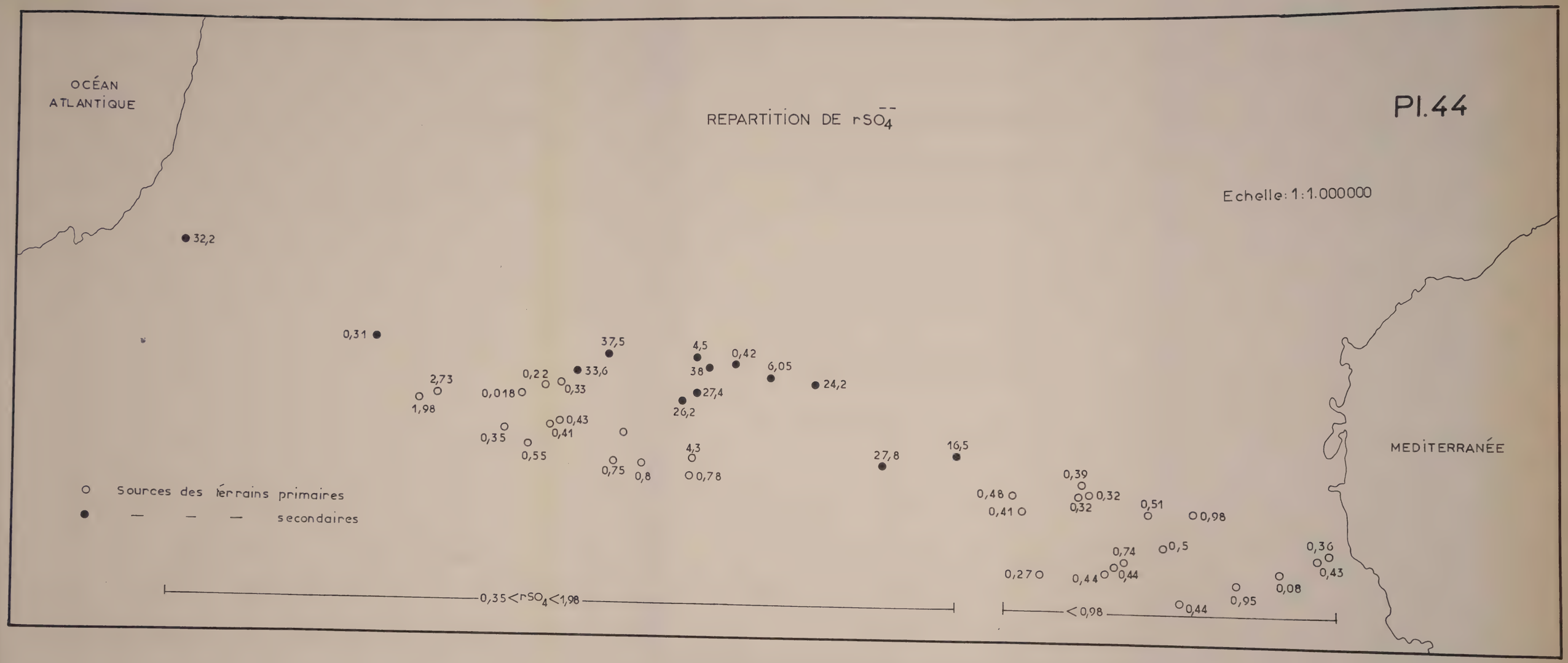
6 - $\frac{r\,(S^{--} + S_2O_3^{--})}{r\,SO_4^{--}}$; Terrains primaires (voir planche 45). Le rapport caractéristique est nul pour les trois sources de l'extrémité Est (Le Boulou, Laroque, Sorède). Pour les autres sources du groupe Est, le rapport varie autour de l'unité, le maximal et minimal sont $0,3 < r\,S^{--} + r\,S_2O_3/r\,SO_4^{--} < 2,4$.

Ce rapport est en général le même à l'Ouest qu'à l'Est, et s'échelonne de 0,5 à 1,5. Il faut signaler que pour les deux stations des Eaux-Chaudes et des Eaux-Bonnes ce rapport est très faible 0,16 à 0,2, et au contraire au Nord du groupe Ouest ce rapport est très élevé (Gazost et Labassère).

II - Cations

1 - Na^+ - Terrains primaires (voir planche 46) - La teneur de sodium comme on peut le voir, sur la carte des répartitions de $r\,Na^+$ est $\gg 4$ à l'extrémité Est (Boulou = 86,7 méq/l), les deux sources de Sorède et Laroque ont une valeur relativement faible. Dans la partie Ouest de cette région le $r\,Na^+$ diminue, dans ce secteur $4,07 > r\,Na > 1,7$ (autour du massif du Canigou et Quérigut). Les deux stations de Molitg et Nossa ont une valeur plus élevé $r\,Na > 2,93$.

A l'Ouest par contre la valeur maximum est moins forte (12,6 à Beaucens), mais les teneurs en général sont plus élevées qu'à l'Est : $12,6 > r\,Na > 18$ exception faites de Salles qui possède une très faible teneur.


OCÉAN ATLANTIQUE
REPARTITION DE rSO_4^{--}
Pl.44
Echelle: 1:1.000000
MEDITERRANÉE
32,2
0,31
37,5
4,5
0,42
38
6,05
2,73
0,22
33,6
24,2
0,018
0,33
27,4
1,98
26,2
0,43
0,41
0,35
0,55
4,3
16,5
27,8
0,75
0,8
0,78
0,39
0,48
0,32
0,32
0,51
0,41
0,98
0,74
0,5
0,36
0,27
0,44
0,44
0,43
0,08
0,95
0,44
Sources des terrains primaires
secondaires
0,35<rSO4<1,98
<0,98

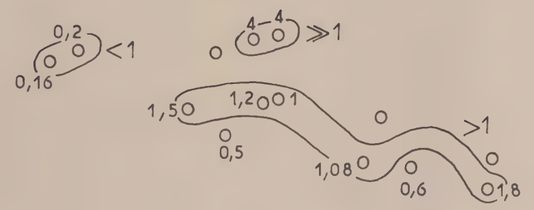
OCÉAN ATLANTIQUE

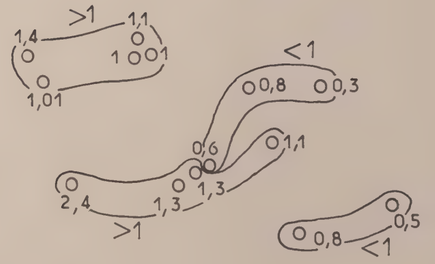
REPARTITION DES RAPPORTS DE $r\overline{\overline{S}} + r\overline{\overline{S_2O_3}} / \overline{\overline{SO_4}}$

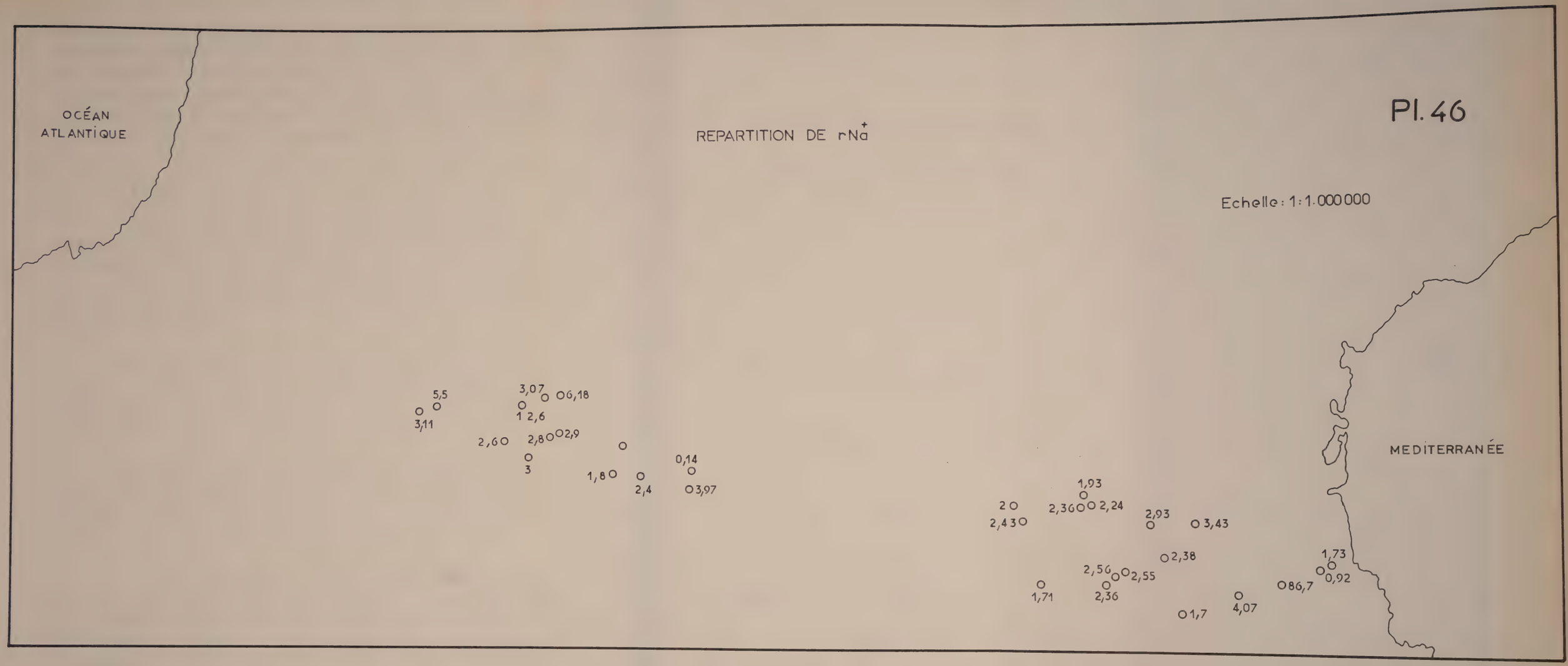
PI. 45

Echelle : 1 : 1.000000

MEDITERRANÉE






OCÉAN
ATLANTIQUE
REPARTITION DE rNa+
Pl. 46
Echelle : 1:1.000000
MEDITERRANÉE
5,5
3,11
3,07
6,18
12,6
2,60
2,80
2,9
3
1,80
2,4
0,14
3,97
1,93
2
2,43
2,36
2,24
2,93
3,43
2,38
1,73
0,92
2,56
2,55
1,71
2,36
6,7
1,7
4,07

Dans ce groupe on peut distinguer deux zones différentes, au Nord Eaux-Bonnes, Eaux-Chaudes, Beaucens, Gazost et Labassère $\geqslant 3$, et au Sud de cette zone $\geqslant 1,8$, sauf Luchon qui a une valeur relativement élévée = 3,97.
D'une façon générale, les eaux issus des terrains primaires, montrent une prédominance du Na sur les autres ions, le rapport du Na au Ca étant à l'Est de 1 à 10 et 20, et à l'Ouest de 1 à 10 maximum.

2 - $\underline{Ca^{++}}$:

a/Terrains primaires ; (voir planche 47). Les eaux issues de l'extrémité Est (Boulou, Laroque et Sorède) ont une teneur très élevée ($12,1 \geqslant r\ Ca \geqslant 2,7$). Par contre celles qui émergent dans ou autour des massifs granitiques, gneissiques à l'Est ont généralement une valeur faible ($0,3 \geqslant r\ Ca^{++} \geqslant 0,1$), ce qui peut être expliqué par la teneur moins forte de Ca^{++} dans les roches des massifs que les schistes.

Dans le groupe de l'Ouest la valeur moyenne est plus forte qu'à l'Est. Sauf les eaux des quatre stations des Eaux-Chaudes, Beaucens, Gazost et Labassère qui ont une valeur $2,3 \geqslant r\ Ca^{++} \geqslant 1,35$, les autres eaux se situant au Sud des quatre premières ne sont pas relativement chargées, $0,91 \geqslant r\ Ca^{++} \geqslant 0,16$.

Mis à part, les stations extrême-orientales qui puisent vraisemblablement leur Ca des terrains de couverture (alluvions) dans lesquels elles circulent, on note de très faibles teneurs de Ca avec un minimum dans le groupe Est. A l'Ouest, une certaine zonalité apparaît du Sud au Nord.

b/ Terrains secondaires : (voir planche 47). En général les eaux issues de calcaire sont relativement riches en Ca^{++}. A part des quatre stations de : St-Christau, Saleich, Ganties, Labarthe qui ont une valeur maximale de 8,5, les autres eaux issues de calcaire caractérisent par une forte teneur de $Ca^{++} \leqslant 28$ méq/l.

On peut noter une relation entre les teneurs de SO_4^{--} et Ca^{++} pour ces eaux. Seulement quatre stations ont le Ca^{--} et SO_4^{--} qui sont très faibles par rapport aux autres eaux, et les autres sont fortes.

Pour les cations on ne peut pas déterminer les zones différentes, ou une évolution dans un sens.

III - Calcul des Valeurs caractéristiques

1 - Indice déséquilibre chloro-alcalin (I.C.A.)

On définit l'I.C.A. par le rapport $\frac{r\,Cl - r\,(Na+K)}{r\,Cl}$ dans le cas ou $r\,Cl > r\,(Na + K)$, et $\frac{r\,Cl - r\,(Na + k)}{r\,SO_4 + rS + r\,S_2O_3 + r\,HCO_3}$ dans le cas contraire.

Il est connu que les eaux d'origine cristalline accuse un I.C.A., < 0 en raison de la faible concentration du Cl devant le Na dans les roches. Ce déséquilibre n'est pas donc dû à un échange de base, mais aux abondances relatives de ces ions dans les terrains traversés.

Dans les eaux de terrains sédimentaires, le déséquilibre peut être attribué à des phénomènes modificateurs, tels que des échanges de cations entre l'eau et les terrains, en fonction de la nature du terrain traversé, et des concentrations relatives des ions en solution. C'est pourquoi, il nous a paru intéressant d'étudier l'évolution de l'I.C.A., en relation avec le terrain à l'émergence et la localisation des sources par rapport aux grandes unités géologiques.

D'après ces valeurs trouvées, on peut distinguer :

1ère catégorie - I.C.A. fortement négatif.

Le groupe des eaux issues des terrains primaires (granite et schiste) accuse une I.C.A. compris entre -1,6 et-0,3, à l'exception des Eaux-Bonnes, dont l'émergence se situe dans le calcaire, qui semble donc caractériser les eaux principalement hyper et mésothermales.

La valeur absolue des indices semble suivre, quoique sans aucune rigueur la température des eaux. Les faibles valeurs (-0,4 à -0,3) se rapportent à des eaux hypothermales.

Pl.47
REPARTITION DE rCa++
Echelle : 1:1.000 000
OCÉAN ATLANTIQUE
MEDITERRANÉE
Sources des terrains primaires
secondaires
26,1
3,2
17,9
8,5
4,23
2,3
1,56
2
28
30
5,3
22,2
0,91
1,35
23,5
24,7
0,26
0,14
0,16
0,22
2,5
0,55
0,66
0,38
26,7
15,4
0,17
0,3
0,10
0,11
0,46
0,2
0,1
0,1
0,15
12,1
12
2,7
0,16
0,29
0,1
0,15
0,12

2ème Catégorie I.C.A. faiblement négatif.

Dans cette catégorie ($-0,2 < I.C.A. < 0,004$), exception faite des eaux bicarbonatées calciques de Laroque et Scrède, se trouvent groupées les eaux à caractères hydrochimiques typique de la couverture sédimentaire secondaire, bicarbonatée sulfatée calcique, sulfatée chlorurée bicarbonatée calcique, sulfatée bicarbonatée calcique.

3ème catégorie - $I.C.A. \geq 0$, relativement rare (3 sources) se rapportent uniquement à des eaux sulfatées ou bicarbonatées sulfatées froides.

La répartition géographique de la valeur de cet I.C.A. montre pour les eaux des terrains primaires :

- une décroissance générale de l'indice de l'Est à l'Ouest, Trois sources seulement ont une $I.C.A. < -1$ dans le groupe Ouest.

- Pour chacun des groupes Est et Ouest, une diminution du Sud vers le Nord. Les valeurs minimales se localisent au niveau de la faille de la Têt d'une part autour du massif de Néouvielle d'autre part (Saint-Sauveur, Barèges, Barzun). On remarque, pour le groupe des eaux issues des terrains primaires, le comportement toujours particulier du groupe extrême Est.

Les eaux des terrains secondaires :

Les valeurs restent faibles, sans variations notables. On peut noter cependant le comportement aberrant de Labarthe-Rivière ($I.C.A. = - 0,21$, dans ce cas, l'indice négatif pouvait être rapportée d'un phénomène d'échange d'ions en raison de la nature des terrains -(calcschistes, marnes schisteuses).

" I . C . A . "

Eaux du Primaire :

I.C.A. << 0

Barèges	- 1,6
Barzun	- 1,6
St-Sauveur	- 1,5
Canaveilles	- 1,4
Amélie	- 1,1
St-Thomas	- 1,1
Thues	- 1,1
Vernet	- 1
Molitg	- 1
Boulou	- 1
Nossa	- 0,97
Mérens	- 0,95
Escaldes	- 0,87
Usson	- 0,8
Loudenvielles	- 0,8
Carcanières	- 0,75
Labassère	- 0,73
Ax	- 0,7
B. de Luchon	- 0,7
Eaux-Chaudes	- 0,7
La Preste	- 0,65
Tramzaygues	- 0,53
Cauterets	- 0,45
Beaucens	- 0,4
Escouloubre	- 0,36
Eaux-Bonnes	- 0,3

I.C. A < 0

Laroque	- 0,2
Sorède	- 0,16
Gazost	- 0,1

Eaux du Secondaire

Labarthe-Rivière	- 0,21
St-Christau	- 0,05
Ussat	- 0,03
Saleich	- 0,02
Salles	- 0,01
Aulus	- 0,01
Barbazan	- 0,008
B. de Bigorre	- 0,006
Siradan	- 0,06
Audinac	- 0,005
Capvern	- 0,004

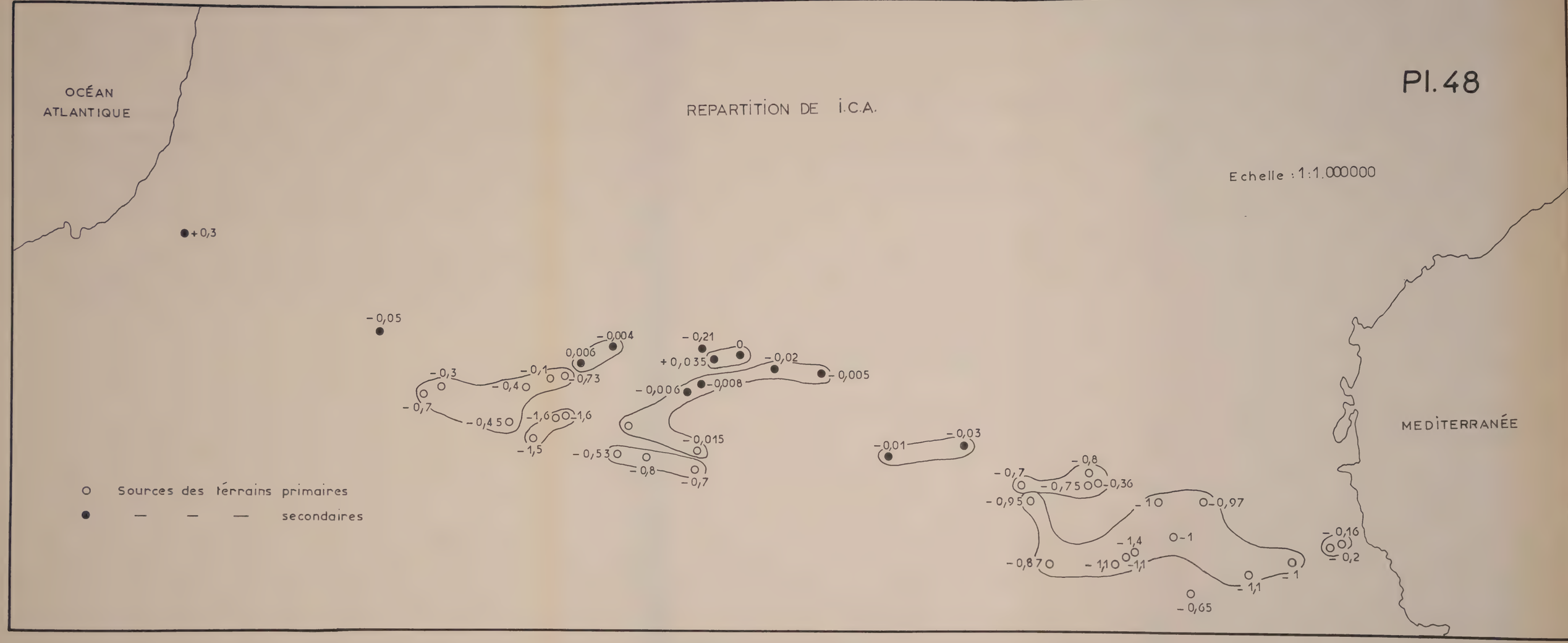
I.C.A. ≥ 0

Ganties	0
Encausse	+ 0,03
Cambo	+ 0,3

PI. 48

REPARTITION DE I.C.A.

Echelle : 1:1.000000



2 - Produit de la solubilité du $Ca\ SO_4$

$$\log S = 1/2 \log (r\ SO_4^{--} \cdot r\ Ca^{++})$$

ou $$S = \sqrt{(SO_4^{--})\ (Ca^{++})}$$

La valeur de la solubilité du sulfate de calcium peut être calculée par les deux formules précédentes, ou par lecture directe sur le graphique du point d'intersection de la ligne verticale située à mi-distance de $r\ SO_4$ et $r\ Ca$ et la droite joignant ces deux points (S_o). Cette valeur est en fonction de la force ionique et de la température de l'eau qui se détermine à l'aide d'une échelle logarithmique (H. SCHOELLER).

Parmi les eaux riches en sulfates, peu en réalité sont saturées. En général le point de saturation n'est pas atteint, le produit de solubilité des sulfates dissous étant inférieurs à S_o de plusieurs méq.

IV - LES OLIGO-ELEMENTS

La majorité des oligo-éléments présents dans les eaux thermales est représentée par des éléments pneumatophiles et lithophiles. La participation des éléments chalcophiles semble être accidentelle et liée probablement à la proximité de filons métallifères (Saint-Christau). Exception faite de As. qui intervient dans 30 % des eaux de couverture et 90 % des eaux de granite.

Si l'on fait foi aux analyses qualitatives existantes, 80 % et 90 % des eaux issues du Primaire contient respectivement les éléments I. et B.

Ces pourcentages tombent respectivement de 58 % à 40 % pour les eaux dont l'émergence se situe dans les terrains secondaires.

LES OLIGO-ELEMENTS DES EAUX

Amélie	Li, I, As, B	Labarthe-Rivière	Li, Mn
Audinac	Li, I, Al	Labassère	I, Li
Aulus	Mn, Li, As, P, Cu	Laroque	Al
Ax	I, B, Li, Mn, Al, F, As	Loudenvielle	
B. de Bigorre	Li, F, As, P,	Mérens	
B. de Luchon	Mn, Cu, Li, B, P, Al	Molitg	I, B, As, Li
Barbazan	I, P	Nossa	Li, B
Barèges	As, B, I, Mn, Li, Br, P	La Preste	B, P, As, Li
Barzun	As, B, I, Mn, Li	St-Christau	Cu, Mn, Li, P, B
Beaucens		Ste-Marie	
Boulou	I, B, As, Li, Al, Cu	St-Sauveur	I, B, P, Br
Cadéac		St-Thomas	
Cambo	I, P, Cu, Li, Sr	Salles	
Canaveilles	Li, B, Al, I		
Carcanières	I, Li, As, P, B	Saleiche	I, P, Cu, Al, Mn
Capvern	As, Cu, Li, B, F, I	Siradan	I, P, Si
Cauterets	I, B, P, As, Mn, F, Br	Sorède	
Eaux-Bonnes	B, I, As, Li, Br,	Thues	As, B. P, I,
Eaux-Chaudes	Li, I, As, Al, Mn,	Tramzaygues	I, B
Encausse	As, I, B, P	Ussat	Li, Mn,
Escaldes	As, I, P, B	Usson	I, Li, As, P
Escouloubre	Li, As, B, I, P, B	Vernet	Li, B, As, I, Al, Br,
Ganties			
Gazost	I, Li		

FREQUENCE (%) DES OLIGO-ELEMENTS DANS LES EAUX

Terrain d'émergence	Li	I	P	Br	As	Mn	Cu	Al	F	B
Granite	80	80	50	10	90	33	0	20	20	80
Schiste	66	80	26	26	46	20	16	33	0	90
Calcaire	66	58	66	0	33	41	41	16	16	40

V - SILICE

Terrains primaires : En général les eaux sont chargées en silice, mais la différence d'origine des analyses dont nous nous sommes servi fait qu'il n'a pas été possible de distinguer la silice en solution vraie de la silice polymérisée (Jacquot et Willm dosent la silice par gravimétrie, après acidification puis recombinent la silice sous forme de silicates avec les différents cations et déterminent ainsi l'excès de silice polymérisée, Société française d'hydrologie donne SiO_2 "non ionisée"). Nous sommes donc tenus à considérer la silice totale (ionisée plus polymérisée). A fin de comparaison entre les analyses, nous avons choisi de convertir la SiO_2 sous quelque forme qu'elle se trouve, en méq/l de SiO_3^{--}.

Les valeurs obtenues dénotent la grande richesse en silice des eaux issues des terrains cristallins, le maximum se situant pour la majeure partie des eaux aux alentours de 3,2 r SiO_3^{--}. Font exception quelques stations vers 4,4 r SiO_3^{--}.

Faits importants à remarquer :

1 - Si l'on trace les valeurs de la concentration en silice en fonction de la température (voir planche 49), les eaux apparaissent en général sous-saturées, en prenant comme référence les champs de solubilité définis par GINGSBOURG). Seul le Boulou se trouverait du côté de la sursaturation et Sorède et Laroque à saturation.

La grande quantité de CO_2 dissous et libre de ces eaux favorise la mise en solution des silicates.

2 - Il semble qu'il y ait une limite des concentrations, égale à 3,2 méq/l, quelque soit la température de l'eau. Un tel état de chose implique un phénomène limitant : un mélange avec des eaux froides superficielles pauvres en silice ferait apparaître une limite dépendante de la température du mélange, donc une dispersion des points en raison des températures différentes des sources chaudes.

Si l'on trace l'horizontale représentant la limite inférieure des concentrations, cette droite coupe la ligne de solubilité en fonction de la température en un point correspondant à 20°. Or, à cette température, r SiO_3^{--} = 3,2 méq/l (96 mg/l silice), ce qui correspond à peu près à la limite de solubilité de la silice des silicates à 20°C., d'après GINGSBOURG à pH = 7,5. On pourrait penser alors à une précipitation de la silice de l'eau entre la prise d'échantillon et la mesure faite au laboratoire, à condition que le dosage ne porte que sur la silice ionisée. S'il s'agit de la silice totale, ce maximum correspond bien à une réalité qu'il convient d'expliquer. Cette ambiguïté pourrait être levée lorsque l'on examine le comportement des eaux thermales vis-à-vis des différentes phases silicatées susceptibles d'être à l'origine de la silice. La note de H. SCHOELLER semblerait montrer que cette limite représente la limite de saturation en SiO_4H_4 par rapport à la phase solide silicatée. Les teneurs en SiO_3^{--} et SiO_4^{--} semblent donc être régies essentiellement par l'équilibre avec les différentes phases solides silicatées.

Points aberrants : Les Eaux-Chaudes, le Boulou, Laroque et Sorède.

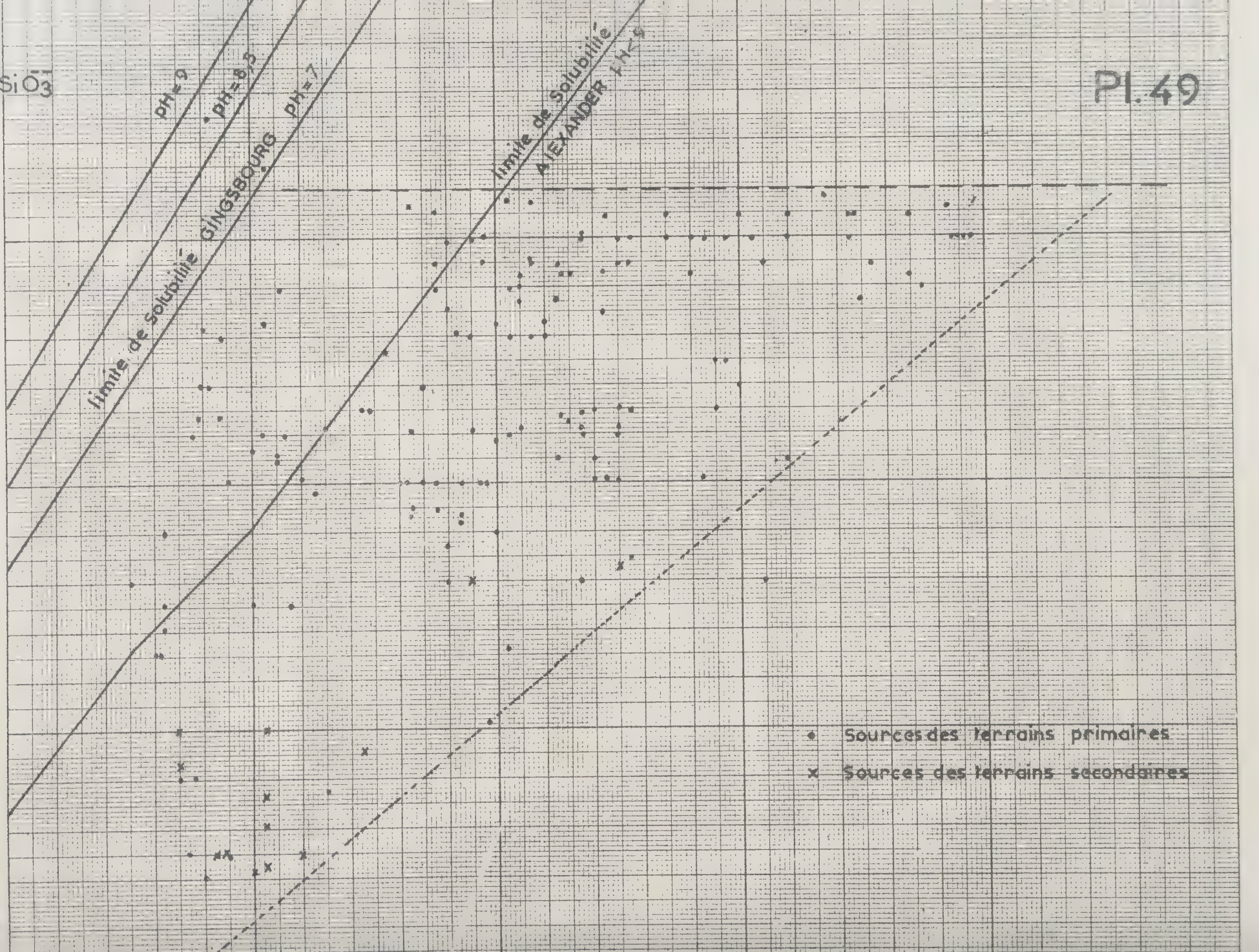
Dans ces trois dernières, la très haute teneur en CO_2 facilite l'attaque des minéraux silicatés et la silice serait en grande partie polymérisée (Solution vraie : à pH 7,5, SiO_3^{--} = 2,9 à 3,2 méq/l).

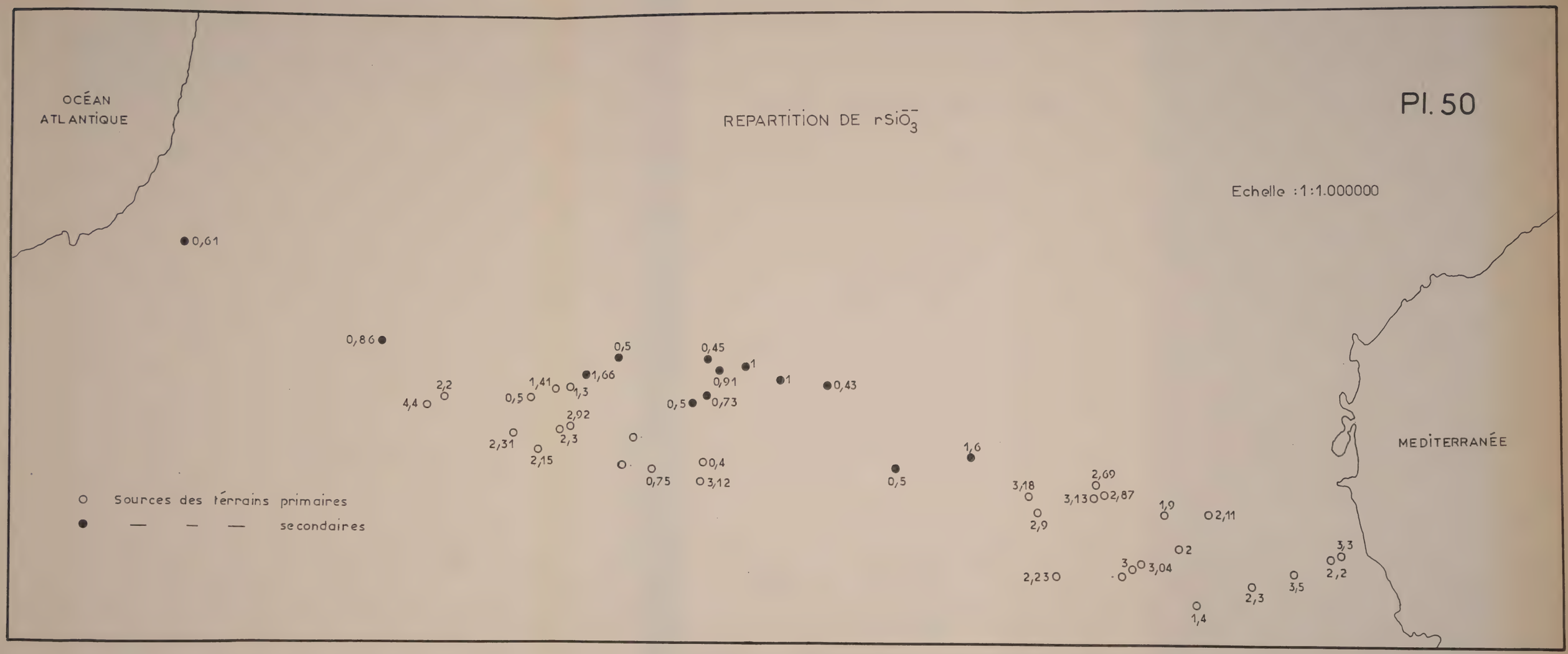
La répartition des eaux les plus chargées en silice (r SiO_3^{--} compris entre 1,6 à 2,9), semble indépendante de la nature du terrain à l'émergence : granite ou schiste, mais plutôt en relation avec la température.

Terrains secondaires : (Voir planche 49).

Les teneurs de silice sont nettement plus faibles que pour les eaux issues des terrains primaires. Toutes les eaux sont sous-saturées, en tenant compte des champs de solubilité d'après GINGSBOURG.

Il faut remarquer cependant les concentrations maximales pour Bagnères-de-Bigorre et Ussat, pour lesquels la teneur de silice atteint jusqu'à 1,6 méq/l.


SiO_3^{--}
pH = 9
pH = 8,5
pH = 7
limite de solubilité GINGSBOURG
limite de solubilité ALEXANDER pH = 9
• Sources des terrains primaires
× Sources des terrains secondaires


OCÉAN ATLANTIQUE
REPARTITION DE $rSiO_3^{--}$
Pl. 50
Echelle : 1:1.000000
MEDITERRANÉE
0,61
0,86
0,5
0,45
1
1,66
1,41
1,3
0,91
1
0,43
2,2
4,4
0,5
0,5
0,73
2,92
2,3
2,31
2,15
0,4
0,75
3,12
0,5
1,6
3,18
2,69
3,13
2,87
2,9
1,9
2,11
2
3,3
3
3,04
2,2
2,230
3,5
2,3
1,4
Sources des terrains primaires
secondaires

Ces eaux présentent également la particularité d'être beaucoup plus chaudes que les sources des terrains secondaires. Comme ces eaux sont largement sous-saturées, il n'y a pas de relation directe entre la température et les teneurs en silice, mais une relation d'origine justifiée par la proximité des massifs granitiques et gneissiques.

C/ DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DE L'ACTIVITE MINERALE

I - DEFINITION DE L'ACTIVITE MINERALE ; DEBIT DES SOURCES

Premièrement nous avons étudié les caractères chimiques des eaux thermominérales, et leur évolution géographique, deuxièmement c'est d'essayer d'évaluer la quantité d'éléments amenée à la surface par ces sources. Nous appellerons "activité", le produit de la concentration en méq/litre d'un élément donné par le débit d'une source. Q. soit en l/s.

$$méq\ l^{-3} \times l^{3}\ t^{-1} = méq.t^{-1}$$

$$a\ HCO_3 = r\ méq/l \times Q\ l/s.,\ ou\ méq/s$$

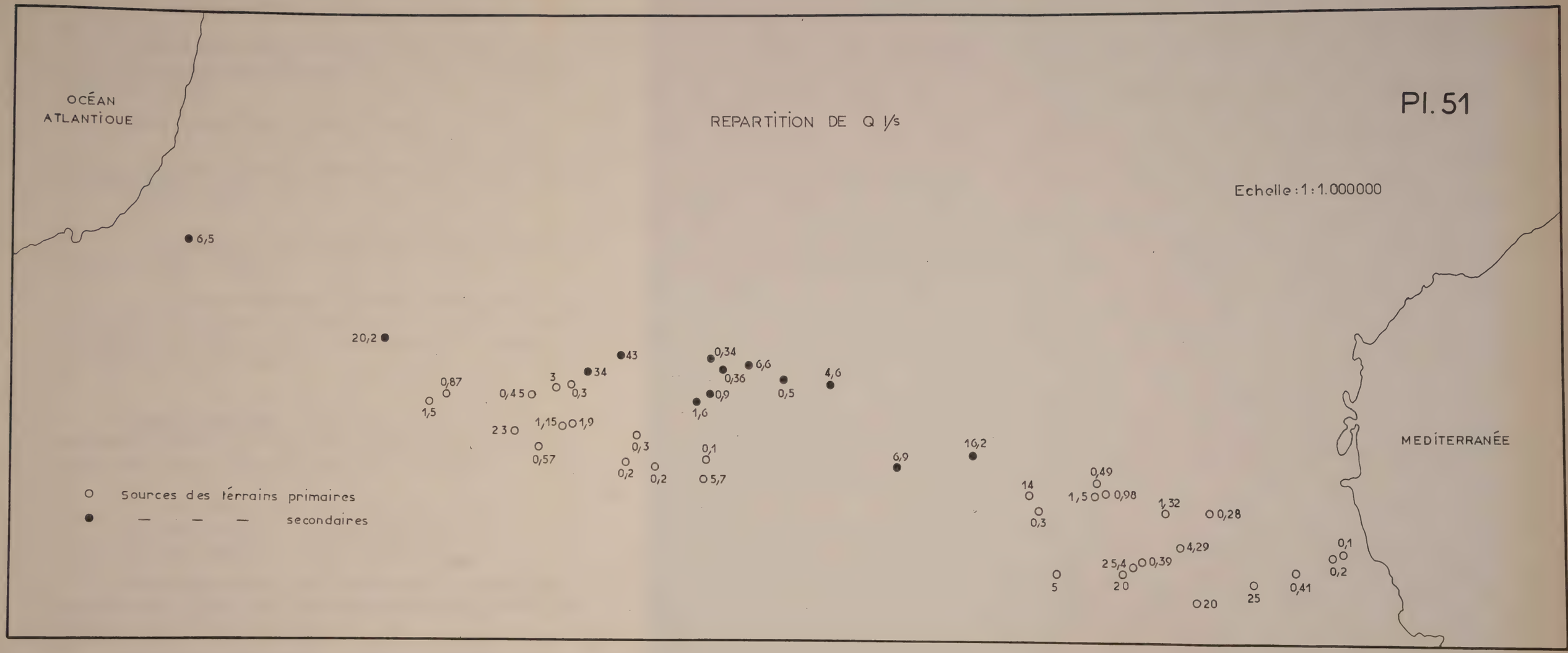
a est évalué en méq/seconde.

Le rapport méq/l / Ql/s renseignera sur "l'activité par débit unitaire".

Premièrement nous avons dressé la carte des répartitions des débits :

1 - Sources des terrains primaires :(voir planche 51). Les débits des diverses stations sont extremement variables (0,1 à 25 l/s). La somme de débit est de 119,7 l/s pour le groupe oriental, et 39,2 l/s pour le groupe occidental.

Une première constatation porte sur la faiblesse des débits pour le groupe occidental. 38 % du débit total est apporté par les deux stations ; La Preste et Amélie, 38 % par les stations de la vallée de la Têt (St-Thomas, Thues, Canaveilles et Vernet), les 24 % restant étant répartis entre les treize autres stations. On remarque d'une façon générale, que les débits maximums sont localisés autour du massif du Canigou. Pour le groupe occidental, le débit total atteint de 39,2 l/s, il est trois fois moindre que pour le groupe précédent. 57 % du débit total est apporté par le groupe de Cauterets.


OCÉAN ATLANTIQUE
REPARTITION DE Q l/s
Pl. 51
Echelle : 1 : 1.000000
MEDITERRANÉE
Sources des terrains primaires
secondaires
6,5
20,2
43
34
3
0,87
1,5
0,45
0,3
0,34
6,6
0,36
0,9
1,6
0,5
4,6
2 3
1,15
1,9
0,57
0,3
0,2
0,2
0,1
5,7
6,9
16,2
14
0,3
0,49
1,5
0,98
1,32
0,28
4,29
25,4
0,39
5
2 0
20
25
0,41
0,1
0,2

2 - Sources des terrains secondaires : (Voir planche 51).

Le débit global apporté par l'ensemble des stations de la partie centrale de la Chaine des Pyrénées totalise 115 l/s. 92 l/s sont groupés sur une superficie de 870 Km^2.

Si on compare le débit par unité de surface :

- Le groupe oriental des sources primaires donne un débit de 0,04 l/s par Km^2, ($\frac{Q\ l/s}{S\ km^2}$, $\frac{119,7}{2825} = 0,04$).

- Le groupe occidental des sources primaires donne un débit de 0,03 l/s par km^2 ($\frac{39,24}{1400} = 0,03$)

- Le groupe des sources de la couverture secondaire donne de 0,1 à 0,7 l/s Km^2, se répartissant sur le groupe d'Aulus, Ussat, et pour l'ensemble thermominéral des Pyrénées Centrales. Ce groupe montrent donc à première vue, un débit relativement plus important.

II - ACTIVITE BICARBONATEE : Comme le montre la planche 52, il existe une évolution de l'activité bicarbonatée des eaux thermo-minérales de la zone axiale, de l'Est à l'Ouest . Trois aires d'activité se distinguent :

1 - aire extérieure Est : a HCO_3 = 28,99 méq/s.
2 - groupe oriental Est : a HCO_3 = 148,43 méq/s.
3 - groupe occidental : a HCO_3 = 18,52 méq/s.

Cette évolution est due, soit, à une évolution des caractères bicarbonatée des eaux, et alors reflète les variations des facteurs de minéralisation bicarbonatée, soit à un débit plus grand.

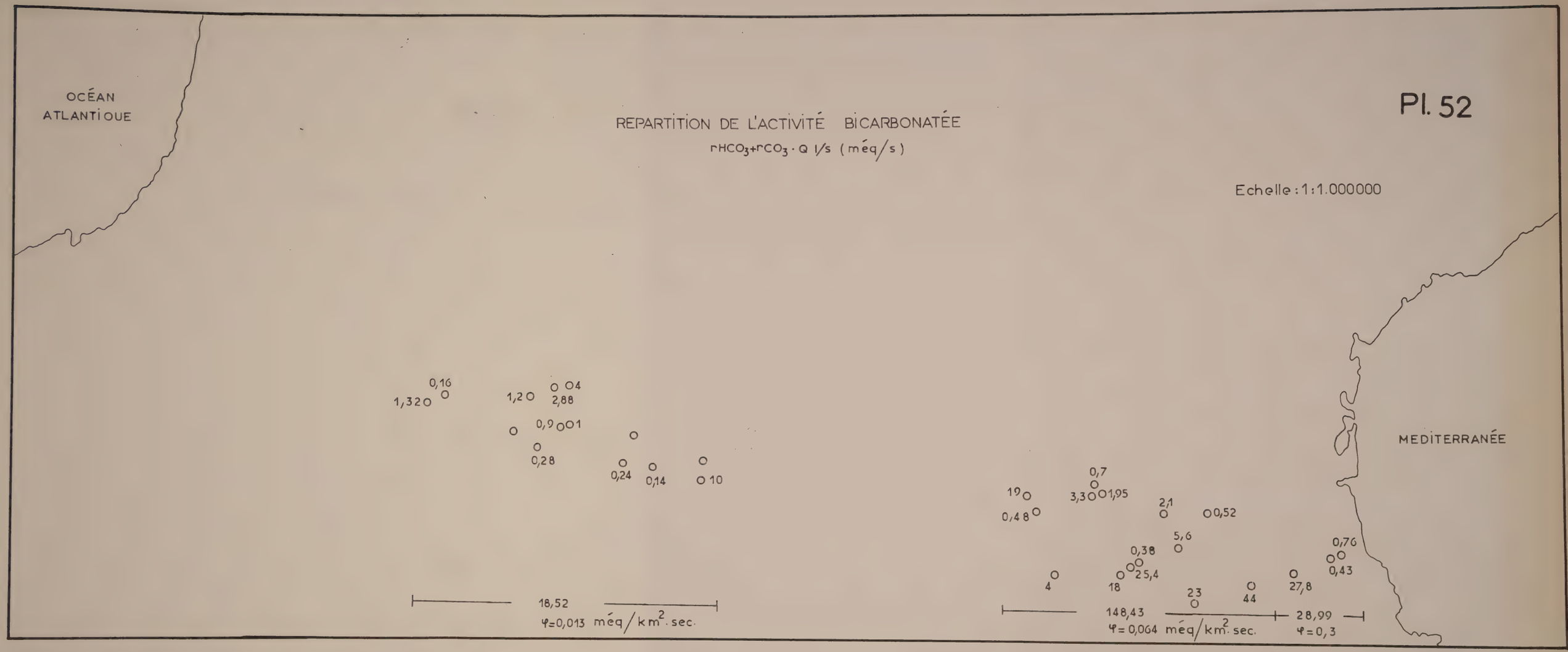
Le calcul du flux bicarbonaté r ($HCO_3 + CO_3$) Q l/s/km^2 montre que ce flux est plus grand à l'extrême Est, que le reste de la chaîne, et confirme l'évolution d'Est en Ouest.

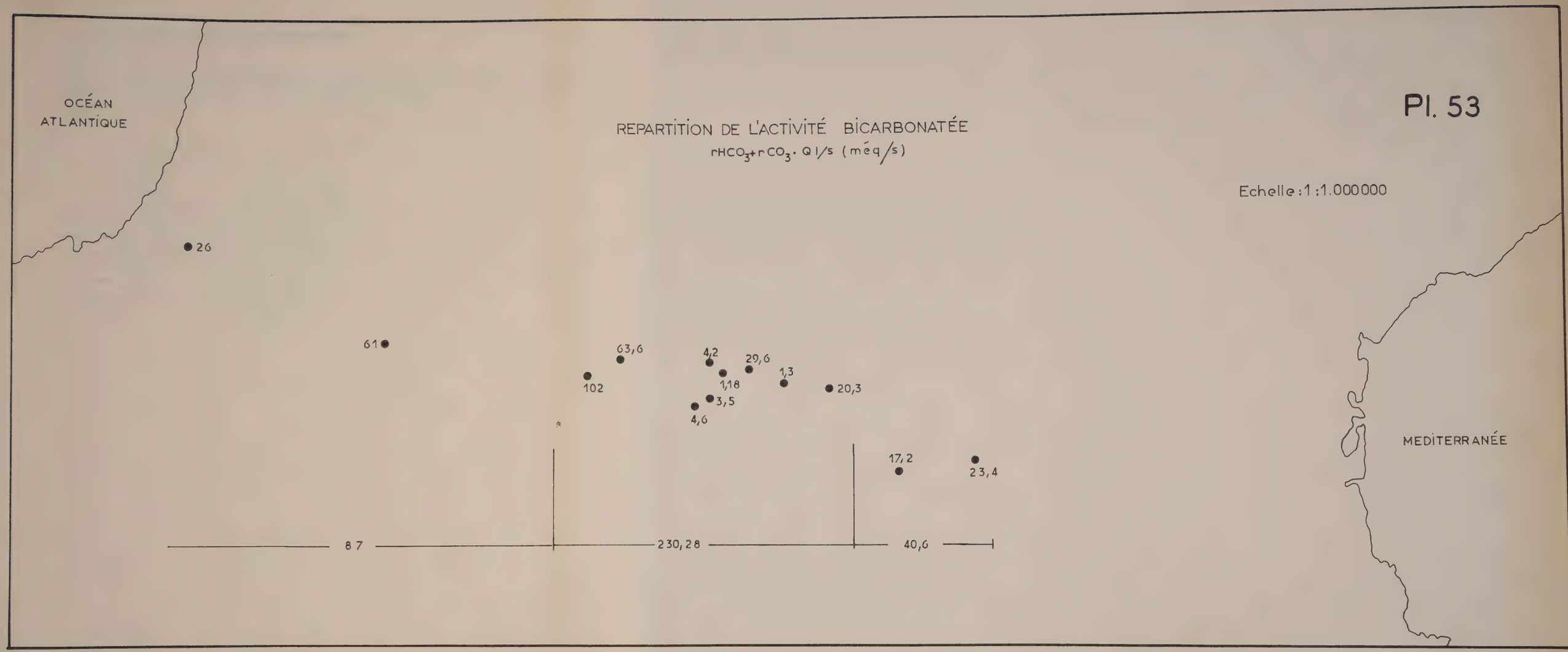
1 - Ψ km^2 = 0,3 Extrême Est
2 - Ψ Km^2 = 0,064 Groupe oriental
3 - Ψ Km^2 = 0,013 Groupe occidental

Une conclusion, alors s'impose, c'est que le facteur de la minéralisation bicarbonatée n'est pas le même pour le groupe Extrême-Est que pour le groupe Est et Ouest. L'activité calculée pour les trois stations ; Sorède, Laroque, Boulou ne peut être attribuée au seul facteur de dissolution des roches granitiques par des eaux vadose. Une origine magmatique s'impose. Ce facteur de minéralisation interne est également responsable des hautes activités du groupe de la faille de la Têt, et aussi de la haute vallée du Tech. Pour le reste de la chaîne, le facteur de minéralisation doit être recherché soit, dans les granites eux-mêmes, pour raison de la faible concentration ($r\ HCO_3 < 2$ méq), soit dans les schistes carburés de la couverture paléozoïque.

Une telle hypothèse est exprimée par le fait que, dans la partie orientale de la chaîne des Pyrénées, et plus précisément, dans les vallées du Tech et de la Têt, l'activité magmatique a été d'une part plus intense, d'autre part plus récente. Cette activité s'est traduite par : un soulèvement général plus important des massifs granitiques, des réajustements structuraux plus récents (effondrement), enfin par un volcanisme qui s'est manifesté à la fin du Tertiaire dans les régions voisines, (volcanisme de Cévénole et Catalane, "G. ASTRE".

Seul, pour le groupe extrême Est et groupe de vallée du Tech et la Têt, l'origine de la minéralisation est profonde. Pour le reste de la Chaîne par ailleurs prouvé par l'étude de la teneur en silice, la minéralisation des eaux thermales semble étroitement liée à un équilibre entre phase solide et phase liquide. Le facteur de la minéralisation semble alors purement pétrographique.


OCÉAN ATLANTIOUE
REPARTITION DE L'ACTIVITÉ BICARBONATÉE
rHCO3+rCO3 · Q l/s (méq/s)
Pl. 52
Echelle : 1:1.000000
MEDITERRANÉE
0,16
1,32
1,2
0,4
2,88
0,9
0,1
0,28
0,24
0,14
0,10
0,7
19
3,3
1,95
0,48
2,1
0,52
5,6
0,38
0,76
0,43
4
18
25,4
27,8
23
44
18,52
φ=0,013 méq/km2.sec.
148,43
φ=0,064 méq/km2.sec.
28,99
φ=0,3


OCÉAN ATLANTIQUE
REPARTITION DE L'ACTIVITÉ BICARBONATÉE
rHCO3+rCO3. Q l/s (méq/s)
Pl. 53
Echelle : 1 : 1.000000
26
61
63,6
102
4,2
29,6
1,3
1,18
20,3
3,5
4,6
17,2
23,4
MEDITERRANÉE
87
230,28
40,6

Sources des terrains secondaires :

L'activité bicarbonatée de l'ensemble des sources du secondaire est nettement supérieure à celle du groupe oriental de la zone axiale, (planche 53).

a HCO_3 = 230,28 méq/l.

Ce qui tend à prouver que, d'une façon générale, l'activité bicarbonatée est en relation avec la nature des terrains à l'émergence. Mais on ne note pas d'évolution générale. Les valeurs maximales se trouvent aux deux stations de Bagnères-de-Bigorre et Capvern. Le fort débit de ces deux stations est la cause principale de la haute valeur de l'activité bicarbonatée. Les autres sources de la couverture secondaire ont des valeurs variables.

III - ACTIVITE SULFUREE

De la même façon que précédemment, nous avons évalué la quantité d'ions porteur de soufre à l'état de (S^{--} et $S_2O_3^{--}$), par unité de temps, c'est-à-dire l'activité sulfurée (aS), (planche 54).

1 - Le groupe extrême Est montre une activité nulle.
2 - Le groupe Est totalise 60,41 méq ($S^{--} + S_2O_3^{--}$),/s.
3 - Le groupe Ouest montre une valeur très faible ; 25,36 méq/s.

L'origine des ions S^{--} et $S_2O_3^{--}$ est contestée et les éléments dont nous disposons ne nous permettent pas de trancher le débat.

On peut en effet attribuer le soufre ;

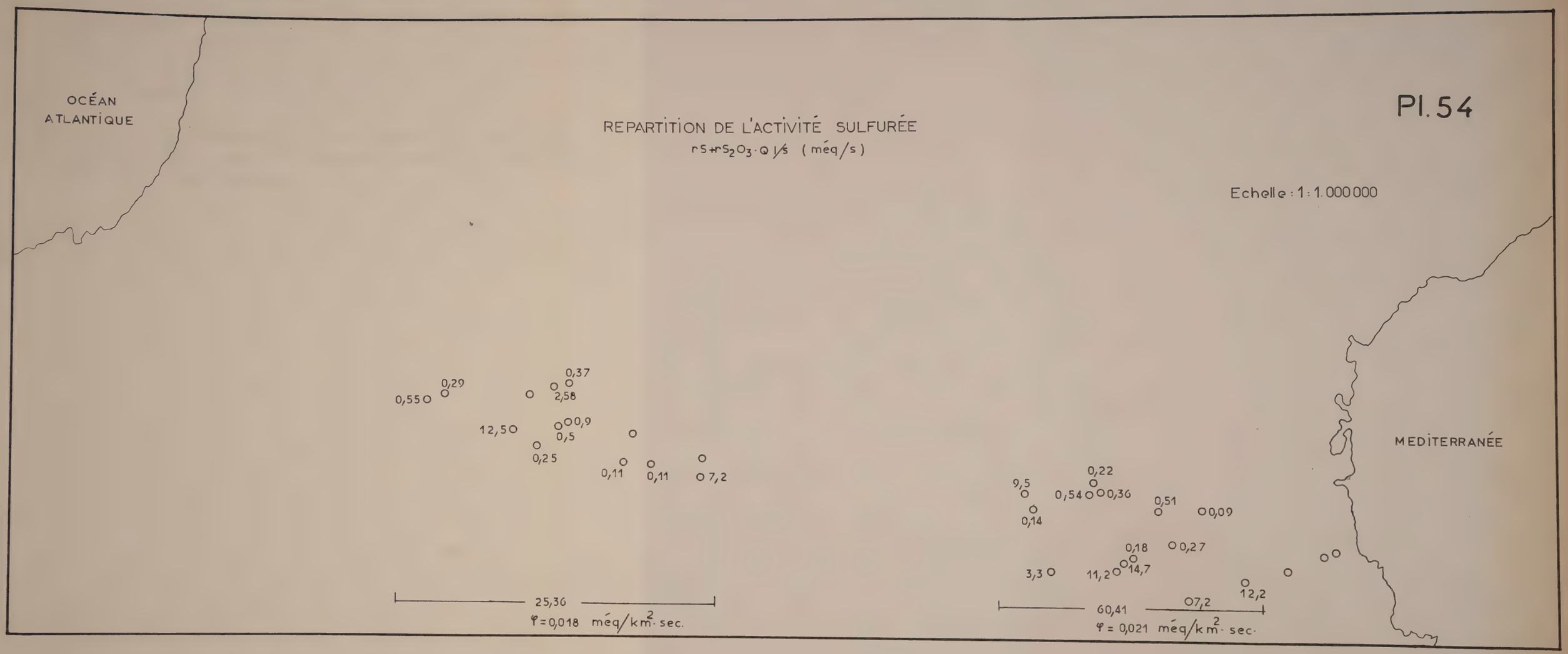
- à une origine profonde (activité fumerollenne)
- à la mise en solution de sulfure des terrains schisteux primaires.
- à une réduction de sulfates.

Nous avons déjà vu que cette dernière hypothèse était impossible en raison de la faible quantité des bicarbonates dans les eaux.

La première hypothèse, celle de l'existence des gaz juvéniles, n'est pas impossible. Cependant, il faut remarquer l'absence totale de H_2S et d'ions S^{--} dans les eaux chargées en CO_2.

La deuxième hypothèse est possible, celle aussi en raison de la présence de sulfure dans les terrains schisteux du Silurien en particulier (dépôts de soufre), et du pH alcalin des eaux.

50 % de l'activité sulfurée du groupe oriental est donnée par le sous groupe de la faille de la Têt. Nous avons déjà mentionné l'activité sulfurée importante des eaux de Bagnères-de-Luchon et Cauterets pour le groupe occidental.


OCÉAN
ATLANTIQUE
REPARTITION DE L'ACTIVITÉ SULFURÉE
$rS+rS_2O_3 \cdot Q\,1/s$ (méq/s)
Pl. 54
Echelle : 1 : 1.000.000
MEDITERRANÉE
0,29
0,55
0,37
2,58
12,5
0,9
0,5
0,25
0,11
0,11
7,2
25,36
φ = 0,018 méq/km² sec.
0,22
9,5
0,54
0,36
0,51
0,09
0,14
0,18
0,27
3,3
11,2
14,7
12,2
7,2
60,41
φ = 0,021 méq/km² sec.

Le flux r $(S+S_2O_3)$ Q l/s / km^2, ne montre qu'une diminution sensible de l'un à l'autre, respectivement ;

$21,38.10^{-3}$ pour le groupe oriental
$18,07.10^{-3}$ pour le groupe occidental.

Ce qui confirme une fois de plus l'hypothèse, que le facteur de minéralisation sulfurée semble être homogène pour l'ensemble de la Chaîne, exception faite du groupe extrême Est.

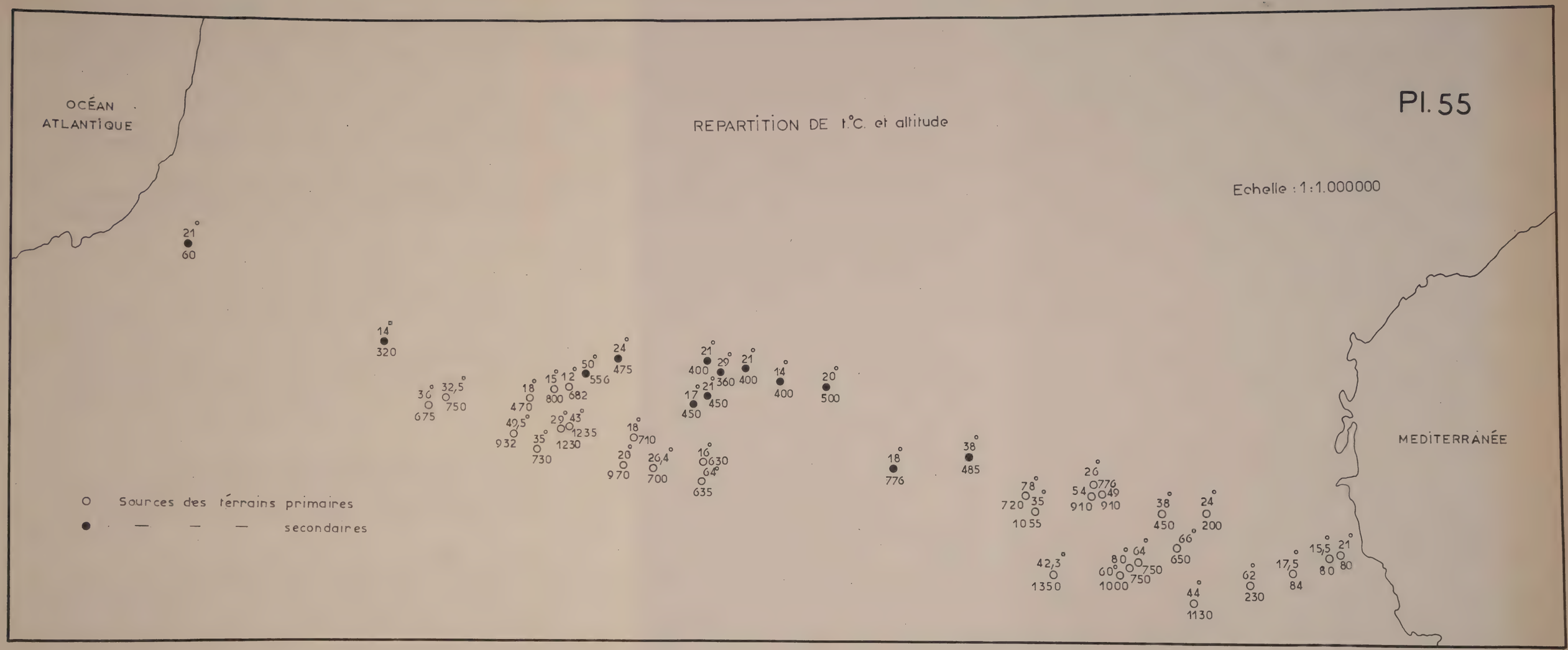
D/ DISTRIBUTION GEOLOGIQUE DE L'ACTIVITE THERMIQUE - FLUX DE CHALEUR

I - LA TEMPERATURE DES EAUX

La distribution des températures à l'émergence impose certaines remarques. Bien que nous sachions que la température à l'émergence ne soit pas toujours représentative de la température véritable de l'eau (refroidissement, mélange), il est remarquable d'observer que celles-ci semblent s'ordonner selon le schéma suivant :

Les maxima de température décroissent d'Est vers l'Ouest, à partir du massif du Canigou, et se localisent dans la zone axiale, (planche 55).

Sur un même méridien, la température semble décroître du Sud au Nord, les eaux les plus chaudes étant les plus proches des massifs granitiques, et caractérisent donc les eaux issues des terrains primaires. Les sources situées dans la couverture secondaire en étant pour la grande partie hypothermales, sauf quelques unes bien particulières comme Bagnères-de-Bigorre et Ussat, qui sont méso et hyperthermale. Pour ces deux stations, les caractères chimiques et en particulier la présence de SiO_3^{--} relativement en grande quantité nous avaient déjà fait considérer ces deux stations comme se rapprochant du groupe des sources de la zone axiale.


OCÉAN ATLANTIQUE
REPARTITION DE t.°C. et altitude
Pl. 55
Echelle : 1:1.000000
MEDITERRANÉE
Sources des terrains primaires
secondaires
21 60
14 320
36 675
32,5 750
18 470
15 800
12 682
50 556
24 475
42,5 932
29 43 1235
35 730
29 1230
18 710
20 970
26,4 700
21 400
29 400
21 400
17 450
21 360 450
16 630
64 635
14 400
20 500
18 776
38 485
78 720
35 1055
26
54 910
776
49 910
38 450
24 200
66 650
42,3 1350
64 80
60 1000
750 750
44 1130
62 230
17,5 84
15,5 80
21 80

II - ACTIVITE THERMIQUE - $(\theta_s - \theta m)$ Q l/s ; Après l'étude des éléments caractéristiques apportés à la surface par les sources (activité minérale), il nous a paru intéressant d'étudier l'activité thermique, c'est-à-dire la chaleur apportée à la surface de la terre par les sources thermo-minérales.

En retranchant la température ambiante moyenne annuelle de la température mesurée des sources $(\theta_s - \theta m)$, on obtient la température de l'eau sans tenir compte de l'influence de la température ambiante, donc de l'altitude.

On définit l'activité technique a_t, le produit de la différence de température précédemment calculée par le débit de la source. Cette activité est exprimée en Calerie/seconde, (kilo, calerie).

$$a_t = (\theta_s - \theta m) \times Q \text{ l/s} \quad \text{en K cal./s.}$$

Pour évaluer le flux de chaleur (c'est-à-dire l'activité par unité de surface), nous avons déterminé la superficie de deux groupes Est et Ouest pour les eaux des terrains primaires, ainsi que les terrains secondaires. Les valeurs obtenues ont été converties en petites calories/cm^2 seconde, afin de pouvoir comparer le flux de chaleur amené par le thermalisme avec le flux de chaleur terrestre, celui-ci était égal à :

13.10^{-7} cal/cm^2 seconde

1 - Sources des terrains primaires : (Voir planche 56). Comme l'imposent les données géochimiques, autant que la répartition géologique, nous avons distingué, pour les sources issues des terrains primaires ; le groupe Est et Ouest :

a/ Groupe Oriental ; pour les eaux de l'extrémité Est, (Sorède, Laroque, Boulou), l'activité thermique est très faible : Sorède 0,5, Laroque 0,08, Boulou 1,27, ce qui est dû à la fois à la faiblesse de débit et de la température. Les fortes valeurs se situent autour du massif du Canigou. Les émergences de la vallée de la Têt (faille de la Têt) participent pour près de 50 % à l'activité thermique du groupe oriental, et les sources de la vallée de Tech (faille du Tech) pour 30 %, les 20 % restant étant répartis entre les onze autres stations.

La superficie de la zone de répartition des sources de ce groupe est environ 2 825 km^2. L'activité thermique est de 5 991,95 k cal/s. et le flux de chaleur est ;

$$\frac{a_t}{km^2} = \frac{5991,95}{2825} = 2,12 \text{ k. cal/km}^2\text{. sec.}$$

a_t étant l'activité thermique totale (sources) de groupe oriental.

ou :

$$2,12.10^{-7} \text{ cal/cm}^2\text{. sec.}$$

ce qui représente, par rapport au flux de chaleur venant de la terre :

$$2,12.10^{-7}/13.10^{-7} = 0,17$$

soit 17 % du flux de chaleur terrestre.

b/ Groupe Occidental ; La plus forte valeur appartient aux eaux de massif de Cauterets et Bagnères-de-Luchon. La seule station de Cauterets représente 66 % de l'activité thermique de ce groupe, Bagnères-de-Luchon 22 %. Les autres sources ont des valeurs très basses par rapport aux deux précédentes.

La superficie de cette zone est environ 1 400 Km^2, et l'activité calculée est de 1357,7, $cal/cm^2 s.$, le flux de chaleur pour cette zone est :

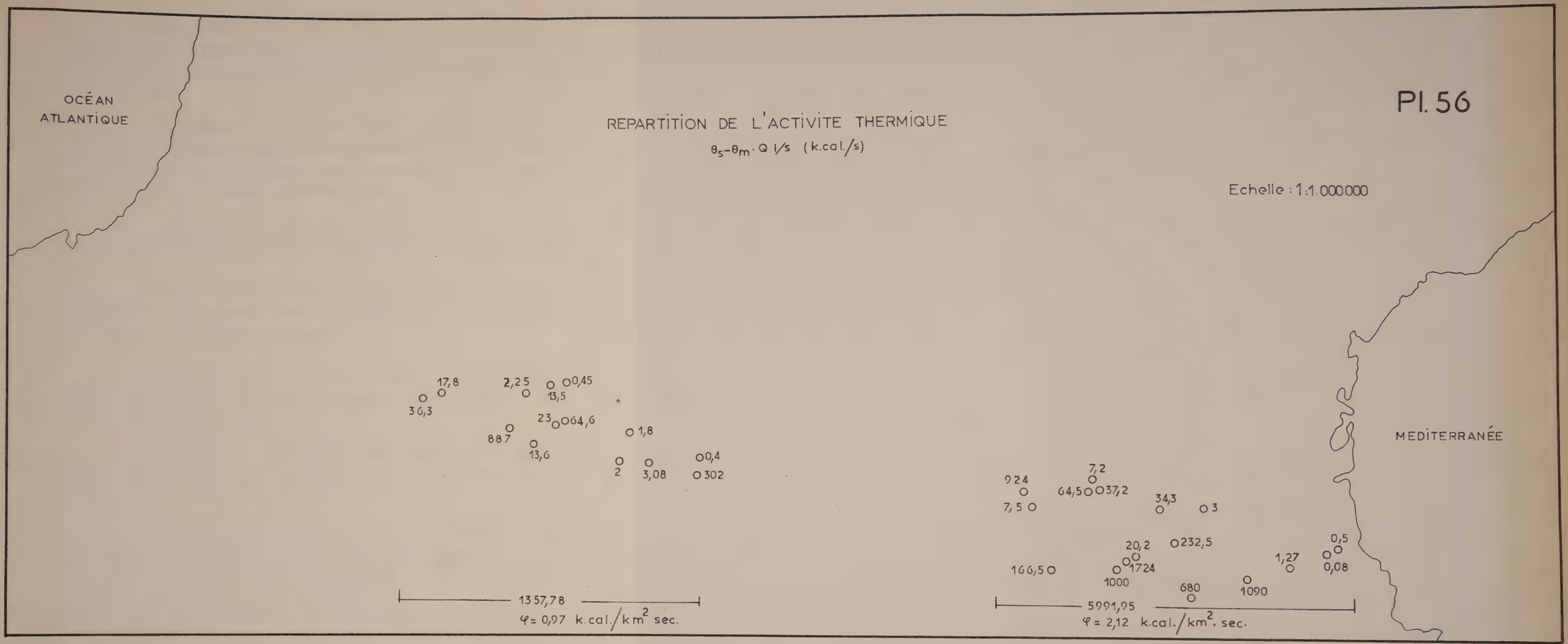
$$\frac{a_t}{km^2} = \frac{1357,7}{1400} = 0,97 \text{ k cal/ km}^2\text{. sec.}$$

ou :

$$0,97.10^{-7} \text{ cal/cm}^2\text{.sec}$$

ce qui représente 7,5% du flux de chaleur terrestre.

$$0,97.10^{-7} \quad 13.10^{-3} = 0,075.$$


OCÉAN ATLANTIQUE
REPARTITION DE L'ACTIVITE THERMIQUE
$\theta_s - \theta_m \cdot Q$ l/s (k.cal./s)
Pl. 56
Echelle : 1:1.000000
MEDITERRANÉE
17,8
30,3
2,25
13,5
0,45
23
64,6
1,8
887
13,6
2
3,08
0,4
302
1357,78
φ = 0,97 k.cal./km^2 sec.
924
7,5
7,2
64,5
37,2
34,3
3
20,2
232,5
0,5
1,27
0,08
166,5
1724
1000
680
1090
5991,95
φ = 2,12 k.cal./km^2. sec.

En comparaison entre les deux groupes, oriental et occidental, on peut noter que : l'activité thermique est concentrée d'une part à l'Est de la chaîne des Pyrénées, et d'autre part à l'Ouest, autour des massifs de Luchon et de Cauterets.

Il faut signaler que les valeurs obtenues sont généralement d'autant plus grandes que les émergences sont plus proches des massifs granitiques ou gneissiques dans les deux groupes (Thues, Saint-Thomas et Ax à l'Est, Bagnères-de-Luchon, Cauterets, Barèges à l'Ouest).

La plupart des sources qui sont loin des massifs, n'ont pas qu'une valeur très faible (Sorède, Laroque, à l'Est, Beaucens, Labassère à l'Ouest).

L'origine de la température des eaux est évidemment le gradient géothermique. Or, ce gradient varie d'une partie à l'autre, en raison des conductibilités calorifiques des roches.

On peut envisager que la chaleur échangée entre les terrains et l'eau qui y circule, est soit d'origine magmatique (chaleur magmatique résiduelle), soit d'origine orogénique ;

- les arguments en faveur de l'origine magmatique sont, d'une part, l'activité tectonique plus intense, d'autre part l'âge plus récent des mouvements structureux, dans la partie Est de la chaîne.

- ceux en faveur de la seconde origine ; résident dans l'existence d'un noyau d'activité thermique important entre Luchon et Cauterets, c'est-à-dire, dans une zone correspondant à la courbe dessinée par le pli-faille de Mérens, sous l'effet de forces mécaniques.
La rupture des réseaux cristallins est susceptible de produire de l'énergie calorifique qui engendrerait, au moins pour une partie, l'activité thermique de cette partie de la chaîne.

2 - Sources des terrains secondaires (Voir planche 57).

Nous avons calculé le flux de chaleur des terrains secondaires, comme pour les primaires ; l'activité thermique de ce groupe est nettement supérieure à celle du groupe occidental primaire.

$a_t = 2193,3 + 469,3 = 2\ 662,6$ cal/s.

Dont, 2 500 cal/s. sont dues aux trois stations de Bagnères-de-bigorre, Capvern et Ussat, soit 94 %.

$$\frac{at}{km^2} = \frac{2193,3}{870} = 2,52 \text{ k. cal/km}^2\text{. sec.}$$

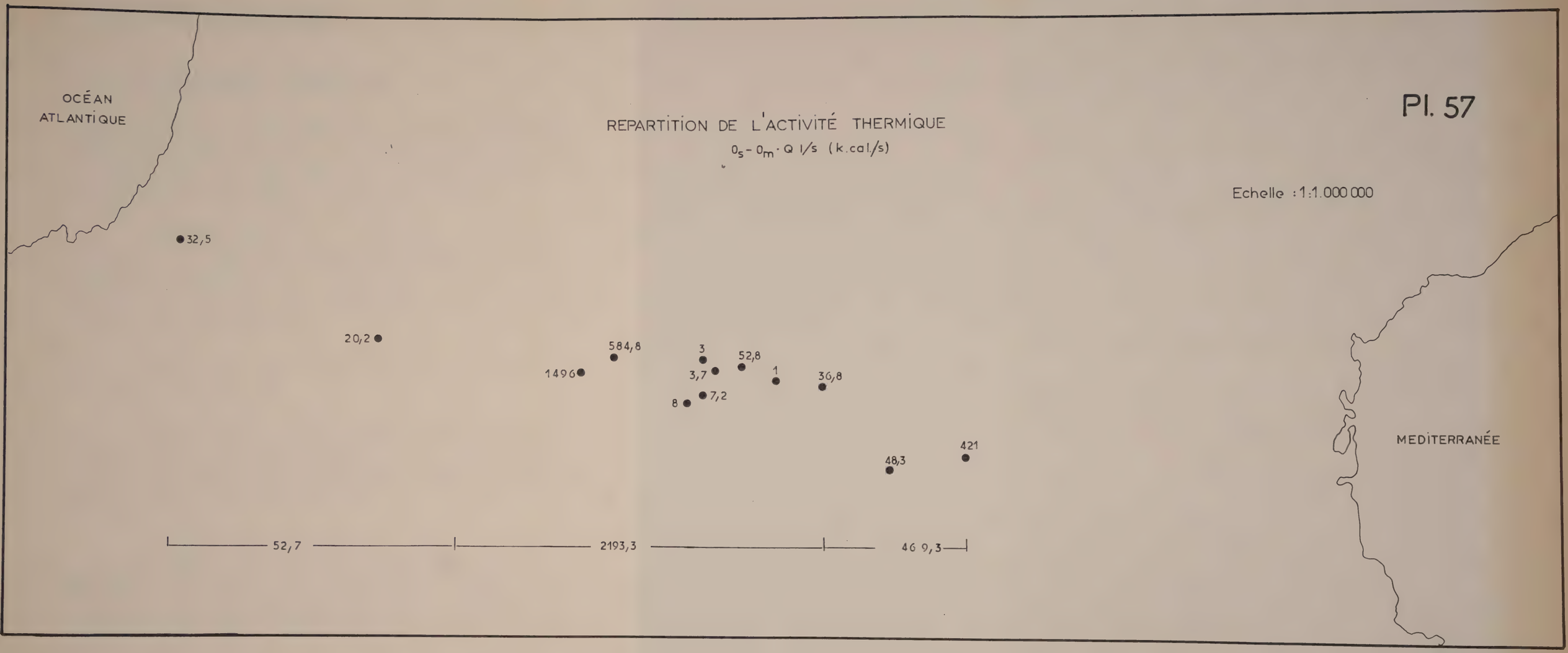
ou :

$2,52.10^{-7}$ cal/cm^2. sec.

at, est l'activité thermique de groupe central des terrains secondaires.

Cette valeur est tout à fait comparable à celle de groupe occidental de la zone axiale.

Il faut signaler que les eaux plus chaudes, qui ont une activité plus grande, comme nous avons vu pour les eaux des terrains primaires, sont en relation avec des massifs granitiques, comme Bagnères-de-Bigorre.


OCÉAN
ATLANTIQUE
REPARTITION DE L'ACTIVITÉ THERMIQUE
$0_s - 0_m \cdot Q$ l/s (k.cal/s)
Pl. 57
Echelle : 1:1.000 000
32,5
20,2
584,8
3
52,8
1496
3,7
1
36,8
8
7,2
421
48,3
MEDITERRANÉE
52,7
2193,3
469,3

E/ LE THERMALISME, PHENOMENE GEOLOGIQUE

I - FACTEUR GEOLOGIQUE DE LA MINERALISATION

La répartition des différents types hydrochimiques des eaux précédemment étudiées montre, qu'on ne peut pas à proprement parler distinguer les différents types, les uns des autres, mais il faut plutôt considérer l'acquisition de la composition chimique des eaux comme un phénomène dynamique en relation étroite avec le contexte hydrogéologique.

Dans la zone axiale, on voit de l'Est, à l'Ouest, les types suivants ; Eaux bicarbonatées gazeuzes (Boulou, Sorède et Laroque), sulfurées caractérisant la plupart des eaux de la zone axiale, puis chlorurées manifestées à l'Ouest de la zone axiale. Il faut noter l'existence des termes de transition entre les différents types.

Au Nord de la zone axiale, se localisent les eaux sulfatées et bicarbonatées (voir planche 58).

Quant à l'origine de la minéralisation des eaux, on doit considérer l'acquisition de la composition chimique des eaux thermales comme la résultante d'un ensemble de facteurs communs, dont la prédominance en fonction de la tectonique, de la structure, de l'un ou l'autre fera apparaître un type déterminé.

Comme nous avons vu, pour l'activité bicarbonatée et sa relation avec la géologie de la chaîne, la provenance des ions $H\,CO_3^-$ doit être considérée comme profonde pour le groupe extrême Est, et pour les autres, cette provenance semble être liée à un équilibre entre l'eau et les terrains dans lesquels elle circule, (facteur pétrographique).

En ce qui concerne le soufre, parmi les trois hypothèses précités l'origine de la mise en solution des sulfures des terrains schisteux primaires est plus probable que les autres. Quoiqu'il en soit, la position géologique de

ces sources implique bien une relation avec la tectonique, ne serait-ce que par la géothermie, la température aidant à la dissolution des sulfures et s'opposant à la dissolution des sulfates (limite de la solubilité de $Ca\ SO_4$ à 40°C. - H. SCHOELLER).

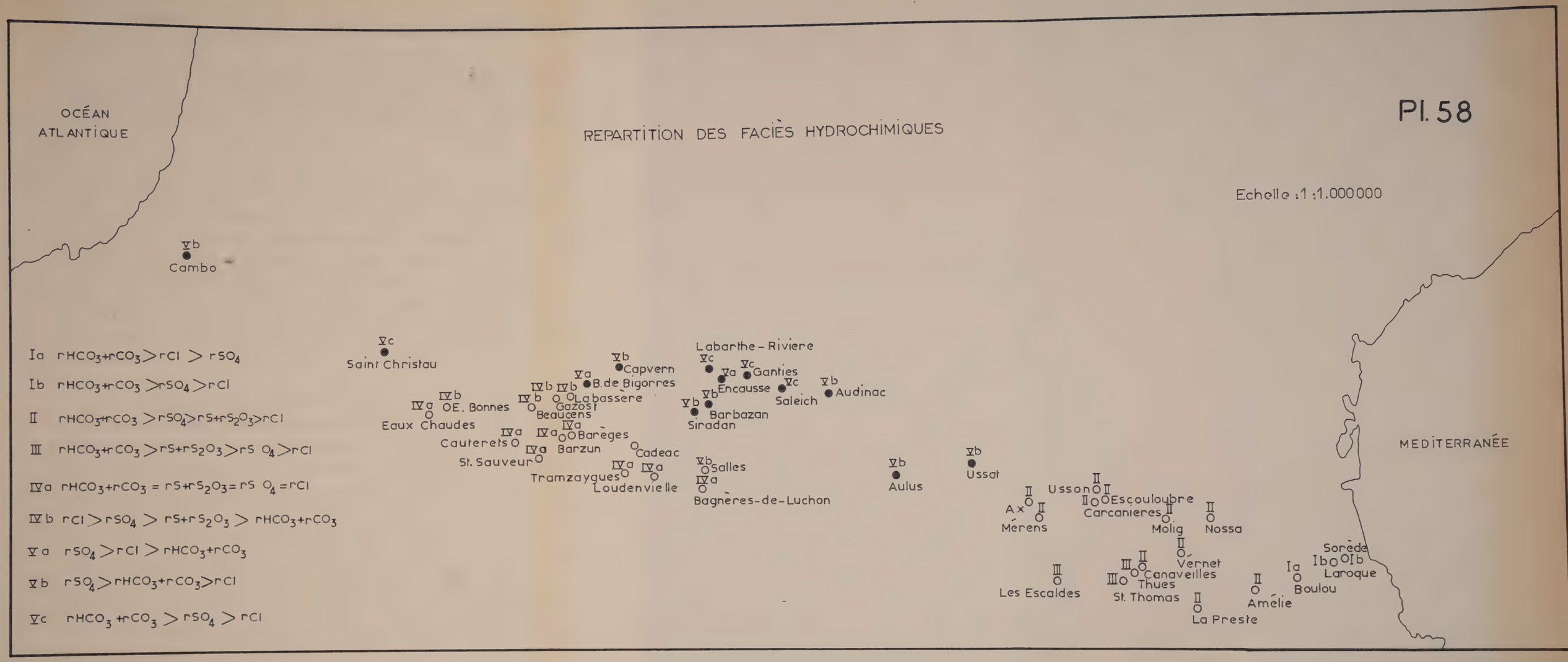
En ce qui concerne le Cl^- et SO_4^{--}, pour les eaux issues des terrains secondaires ; ils trouvent leur origine dans les roches sédimentaires secondaires. Nous avons vu l'incidence sur l'I.C.A. pour les eaux des terrains granitiques, schisteux et secondaires (calcaires).

En fait, les éléments de la composition chimique de l'eau proviendrait en grande partie de la surface. Il semble que l'eau, acquiert la majeure partie de sa minéralisation pendant son parcours descendant. L'eau d'abord descendante, après avoir reçu les calories (cas des eaux chaudes), prend le cheminement vers la surface. Comme le réseau d'infiltration est plus intense, on pourrait penser à une surface beaucoup plus grande de contact entre l'eau et le terrain, que dans le cas d'ascension de l'eau par un filon. Par conséquent, on peut attribuer la majeure partie de l'acquisition chimique de l'eau dans les branches descendantes.

REPARTITION DES FACIÈS HYDROCHIMIQUES

Pl. 58

Echelle : 1 :1.000000



II - FACTEURS GEOLOGIQUES DES CONDITIONS D'EMERGENCE ET DU THERMALISME

Les facteurs géologiques qui favorisent les conditions d'émergence et du Thermalisme, doivent être considérés pour les émergences dans les terrains de la zone primaire axiale, et la zone Nord pyrénéenne. (Voir planche 59).

La Zone axiale - Les terrains cristallins (granite, gneiss), offrent une perméabilité de fissures, et ne permettent qu'une alimentation par les eaux superficielles restreintes. Du fait de l'altitude, l'énergie potentielle de l'eau dans cette zone est grande. Un circuit, pas forcément long, met l'eau en contact avec un milieu contenant de la chaleur résiduelle, et des éléments pneumatophiles. La surface de contact entre l'eau et le terrain, dans les fissures descendantes et le filon ascendant, en tenant compte la superficie de la zone d'infiltration, et le flux de chaleur provenant de profondeur pour la même superficie, seraient suffisants pour produire des eaux très chaudes à l'émergence.

Si on examine la répartition des températures et des altitudes de la chaîne des Pyrénées, on peut trouver une certaine relation entre ces deux paramètres. Un parcours de quelques dizaines de kilomètres à l'Ouest de la Méditerranée, nous montre l'altitude maximum de la zone axiale. C'est dans cette région que nous voyons les sources les plus chaudes des Pyrénées (Thues ; Source Cascade 80° C.) A l'Est et l'Ouest de ce point, la température décroît (voir la répartition de la température planche 55). Cela ne veut pas dire qu'il y ait une relation de cause à effet de ces deux phénomènes, mais plutôt comme l'a montré G. ASTRE, altitude et température sont deux conséquences d'un même facteur, à savoir l'activité tectonique de la chaîne des Pyrénées. Que l'on admette une origine vadose ou juvénile, le réchauffement des solutions en profondeur est favorisée à l'Est par l'existence d'une chaleur magmatique résiduelle.

Ces eaux sourdent au point le plus bas de la surface, comme les vallées, pied des escarpements (Bagnères-de-Luchon, Thues etc...). Le contact du schiste avec le granite est un facteur d'émergence pour les eaux de cette zone.

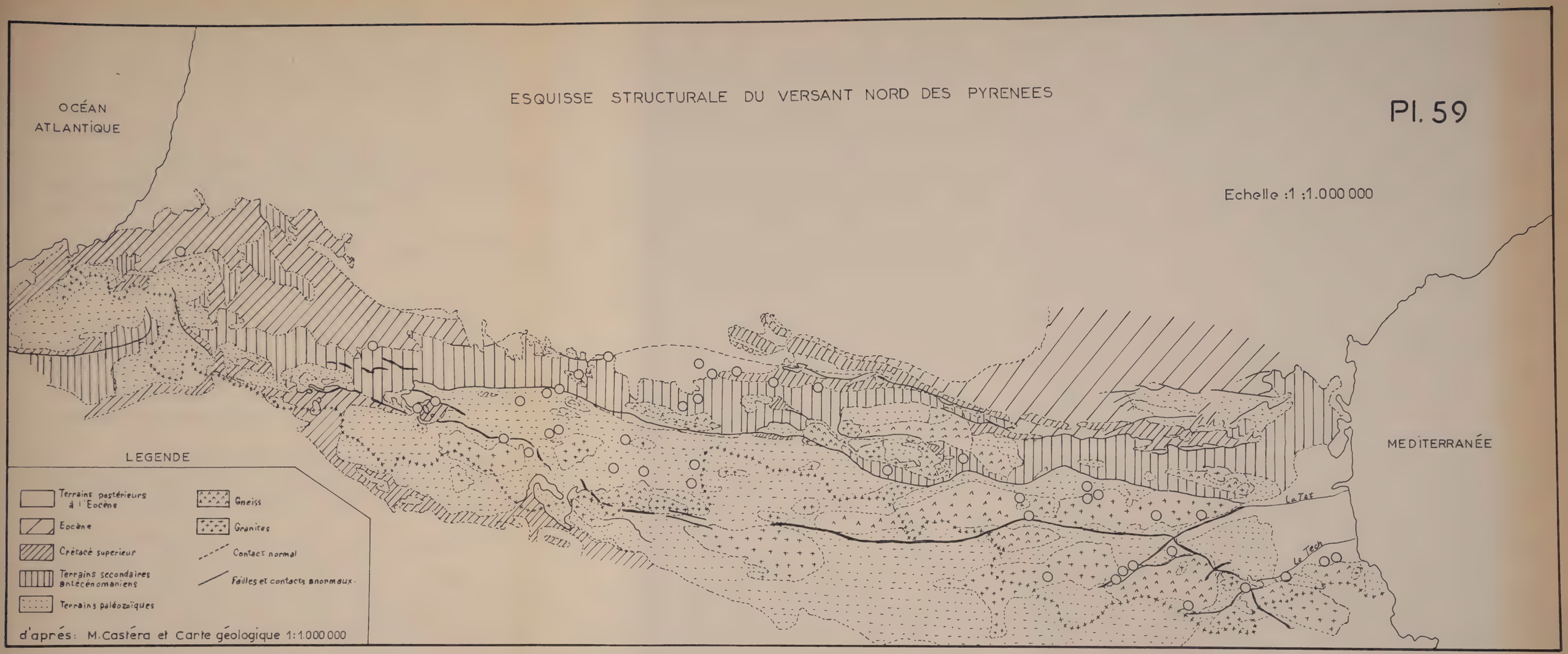
Le fait le plus important sera celui d'une fracture profonde ramenant au jour des eaux ascendantes. Les griffons des sources semblent s'ordonner sur des lignes de fracture suivant une direction différente des failles principales, et correspondant à des zones cassées ou à des contacts. Telles sont les émergences situées dans les vallées (faille) de la Têt et du Tech. Nous avons vu l'incidence des failles, et le pli-faille des Pyrénées dans le chapitre géologie.

La Zone Nord pyrénéenne - Cette zone comprend les émergences à forts débits, à une altitude moins élevée que dans la zone axiale. L'alimentation est plus importante, l'infiltration notable est plus ou moins favorisée d'une part par la lithologie, d'autre part par le redressement des formations tectonisées. L'échange thermique se fait à plus faible profondeur. La minéralisation par les terrains cristallins beaucoup plus profonde, est moins marquée. Les eaux sont d'autant plus chaudes, qu'elles sont plus proches des massifs cristallins. La couverture secondaire plissée et redressée de cette zone permet l'établissement de nappes. Les eaux acquièrent un faciès plus typiquement sédimentaire. On rencontre des nappes visibles soit, sous la forme des sources à leur affleurement naturel ; soit, grâce à des puits et forages, (Capvern, Bagnères-de-Bigorre).

*

ESQUISSE STRUCTURALE DU VERSANT NORD DES PYRENEES

Pl. 59



C O N C L U S I O N G E N E R A L E

Le massif pyrénéen étalé de la Méditerranée à l'Océan Atlantique sur un parcours de 450 kilomètres est peut être la région la plus intéressante au point de vue d'hydrogéologie thermale en France.

L'étude géologique de la chaîne des Pyrénées permet de distinguer les zones suivantes ;

1 - La Zone axiale, constituée par des massifs granitiques, gneissiques et par des terrains sédimentaires primaires. La plupart des multiples griffons des eaux chaudes de la chaîne se situent dans cette zone, à proximité des contacts des formations cristalline et sédimentaire. Cette zone est formée par différents massifs, ceux du Canigou, de Quérigut, de Luchon, de Barèges, de Cauterets, d'âge primaire.

2 - La zone du Nord, formée par des terrains secondaires très épais, qui recouvrent les formations de la zone axiale au Nord de la Chaîne. C'est dans cette zone qu'on rencontre les eaux sulfatées calciques des Pyrénées.

L'étude détaillée des stations et des sources isolées de la Chaîne, nous permet de tirer les conclusions suivantes :

L'accroissement de la teneur en $H\,CO_3^-$ de l'Ouest à l'Est dans la zone axiale et l'existence de sources gazeuses (CO_2) à l'extrême Est, confirmerait une relation avec l'activité magmatique interne pour les eaux de la partie orientale de la zone axiale. Ce serait une conséquence de l'activité plus intense et plus récente, sous forme de soulèvement plus important des massifs cristallins à l'Est qu'à l'Ouest. Cette évolution, comme nous l'avons étudiée est confirmé par les séquences, les diagrammes triangulaires, et l'activité bicarbonatée de la zone axiale.

La répartition des valeurs du Cl^- montre qu'elles sont plus élevées dans la zone occidentale. Ce phénomène peut être expliqué par la relation de l'eau avec les formations salifères secondaires, qui sont plus développées à l'Ouest qu'à l'Est des Pyrénées.

Il n'y a pas à proprement parler une évolution dans un certain sens pour le S^{--}, mais une relation avec les terrains d'émergence. La teneur en S^{--} augmente, quand l'eau est issue des terrains schisteux.

En ce qui concerne SO_4^{--}, il faut mentionner que les faibles valeurs à l'Est et les valeurs plus élevées dans les eaux de l'Ouest de la zone axiale, prouve la contamination des eaux par les formations secondaires, qui reposent sur les roches primaires dans quelques régions de l'Ouest de la zone axiale.

Les températures plus fortes des sources orientales peuvent être expliquées par une chaleur résiduelle plus forte due à l'activité tectonique plus intense, et aux mouvements structureux plus récents, et à l'Ouest par l'existence d'un noyau d'activité thermique, entre Cauterets et Bagnères-de-Luchon, pour les sources de cette partie.

L'étude des eaux issues des terrains secondaires du Nord de la Zone axiale, ne montre pas l'évolution comme pour les terrains primaires, mais plutôt, une relation avec les terrains d'émergence et les terrains encaissants. La température de ces sources est d'autant plus élevée, qu'elles sont plus proches des massifs cristallins.

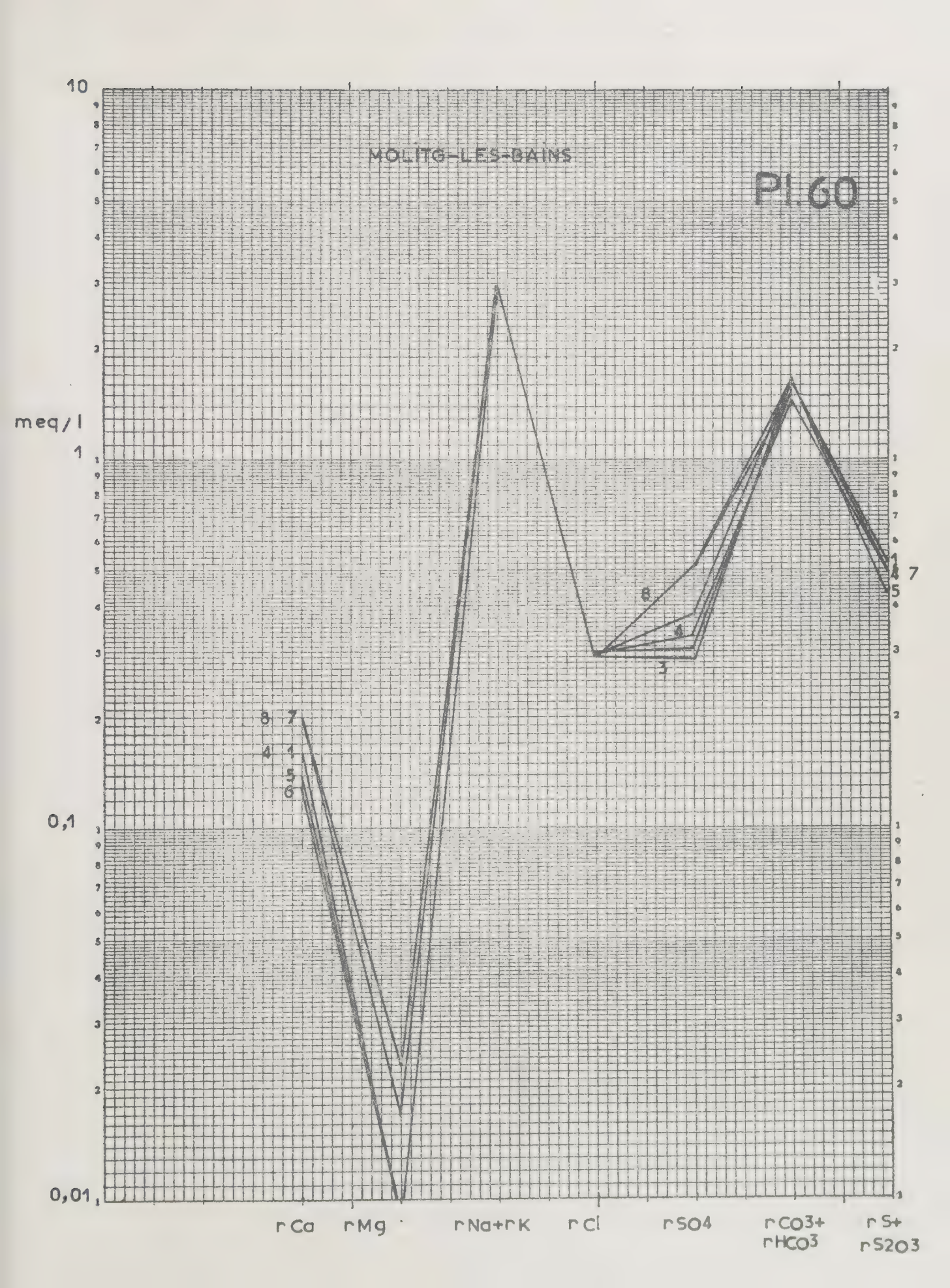
Les débits plus grands dans la zone Nord pyrénéenne, que dans la zone axiale, indique une alimentation plus intense dans cette zone.

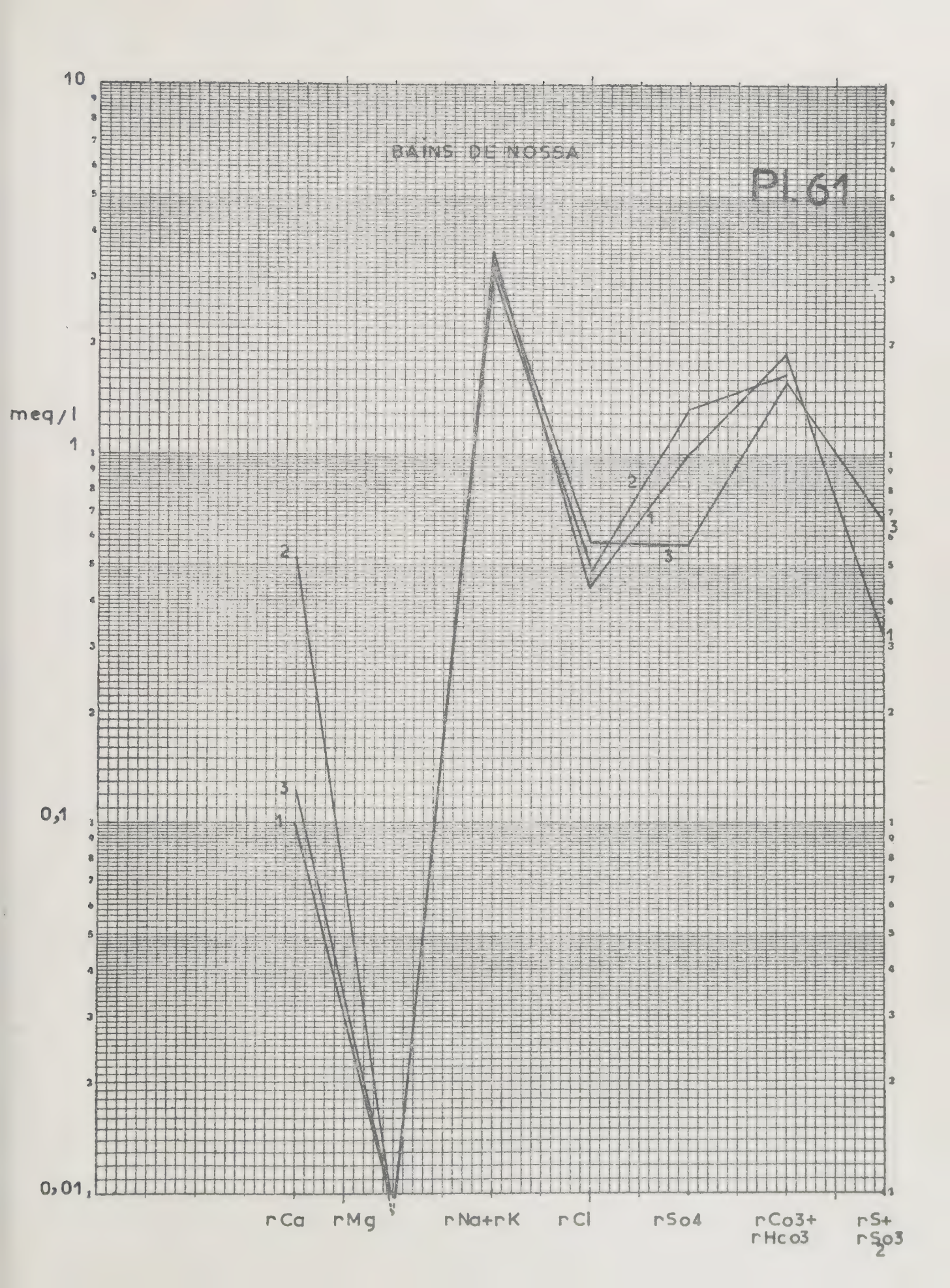
Enfin l'emplacement des griffons des sources de la zone axiale est en relation avec les failles, et les contacts des formations schisteuses et cristallines. Pour les eaux des terrains secondaires, l'émergence est favorisées par les failles, ou les fractures qui sont parfois visibles dans quelques stations.

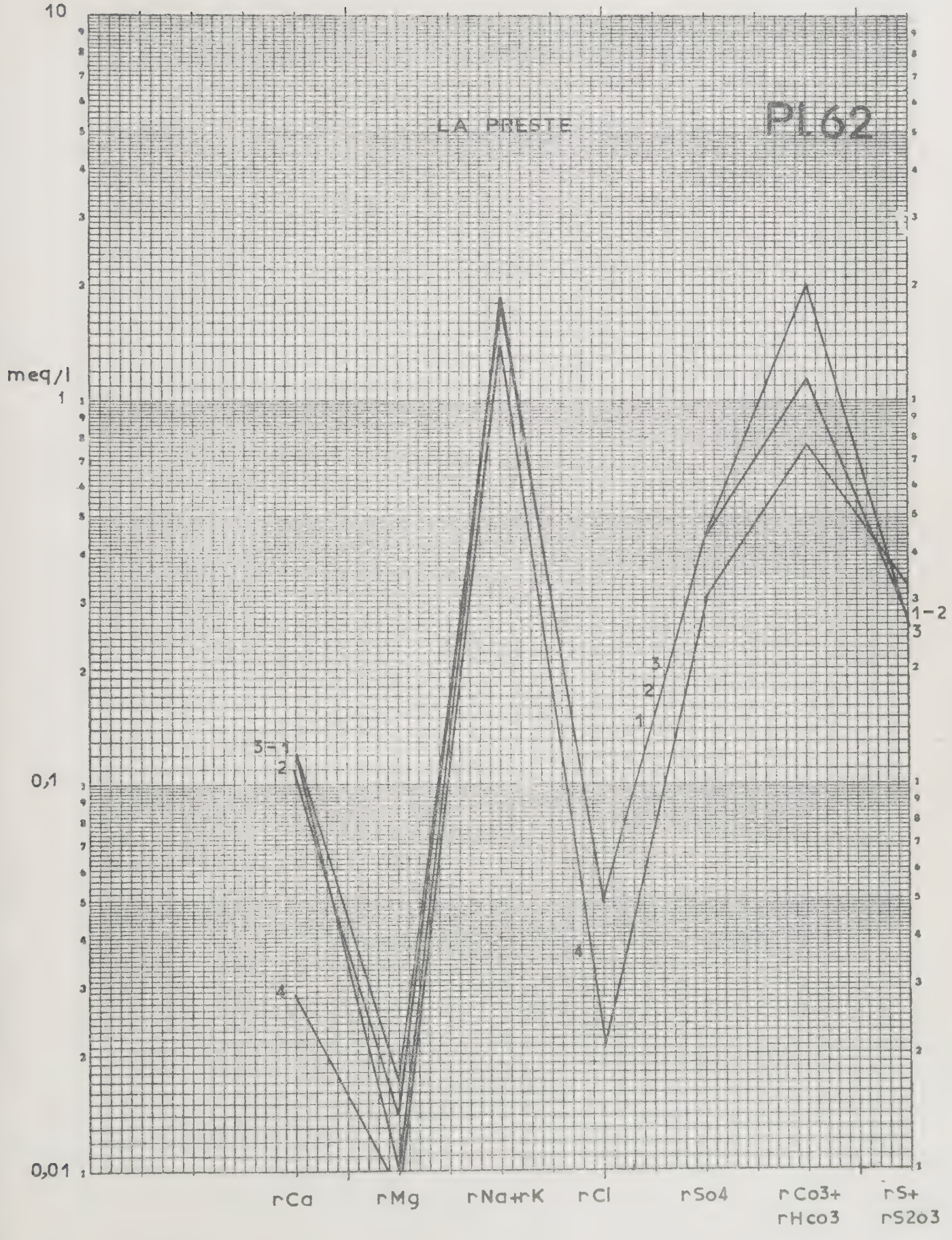
*

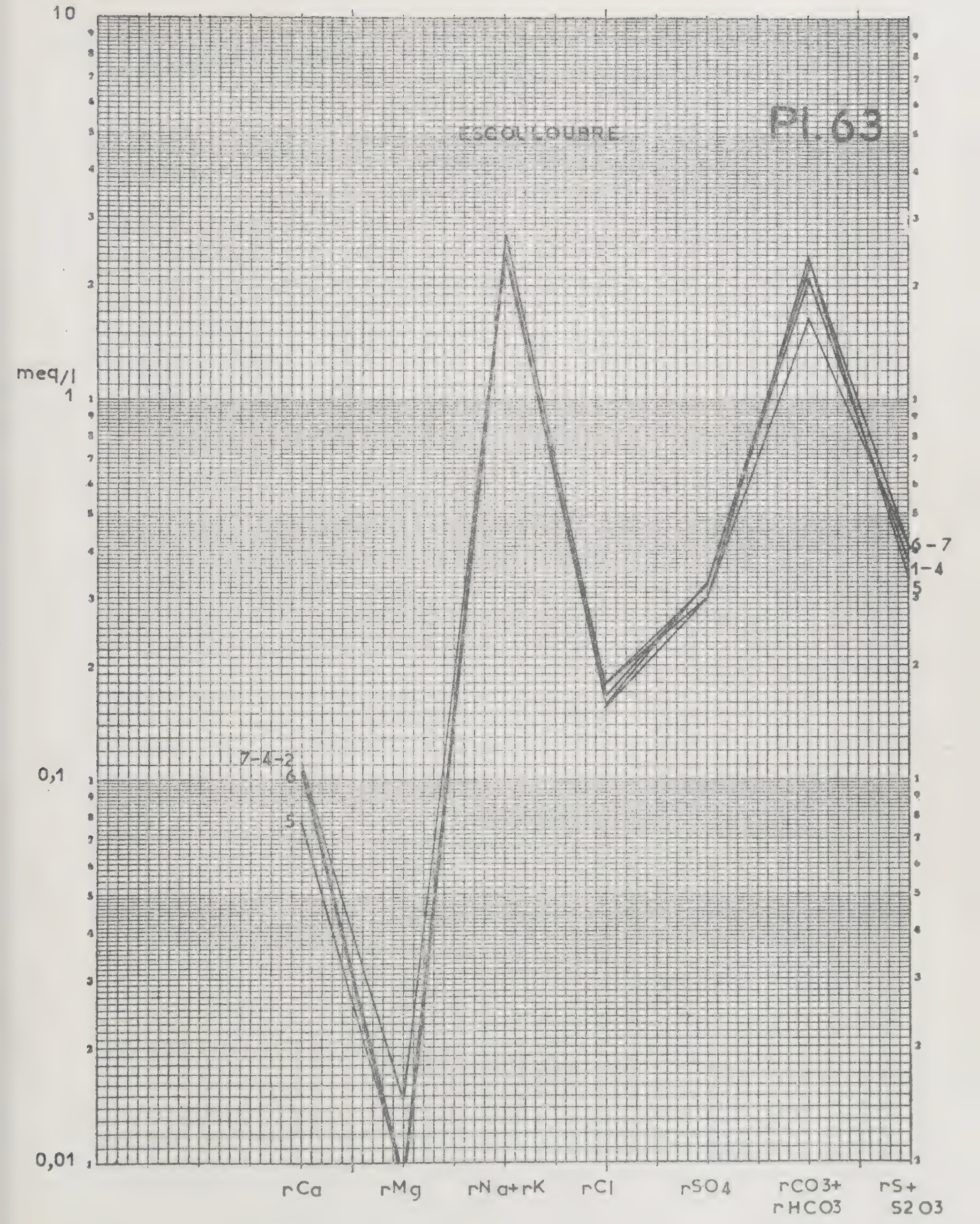
A N N E X E

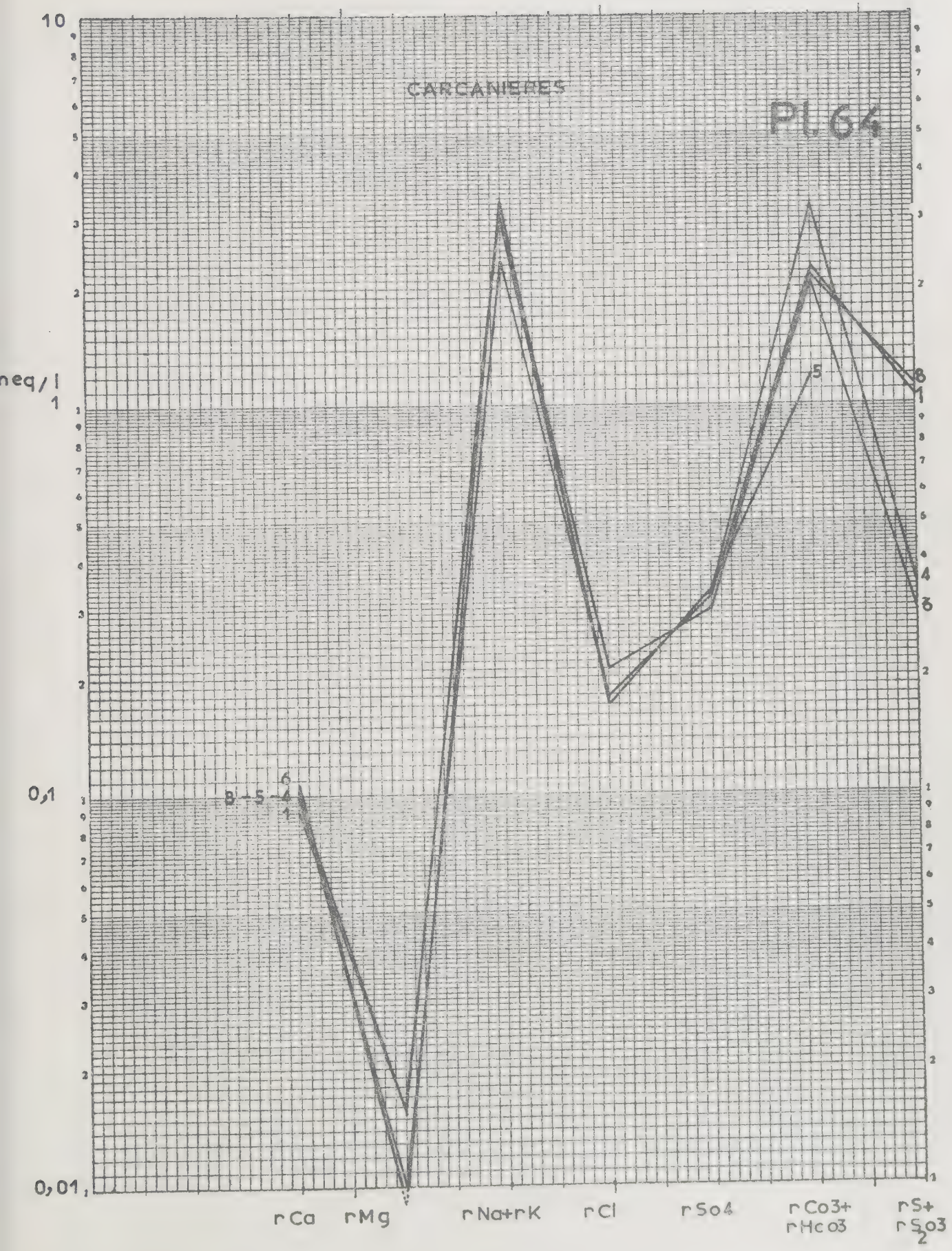
- Graphiques semi-log des analyses des eaux
- Les valeurs et rapports.

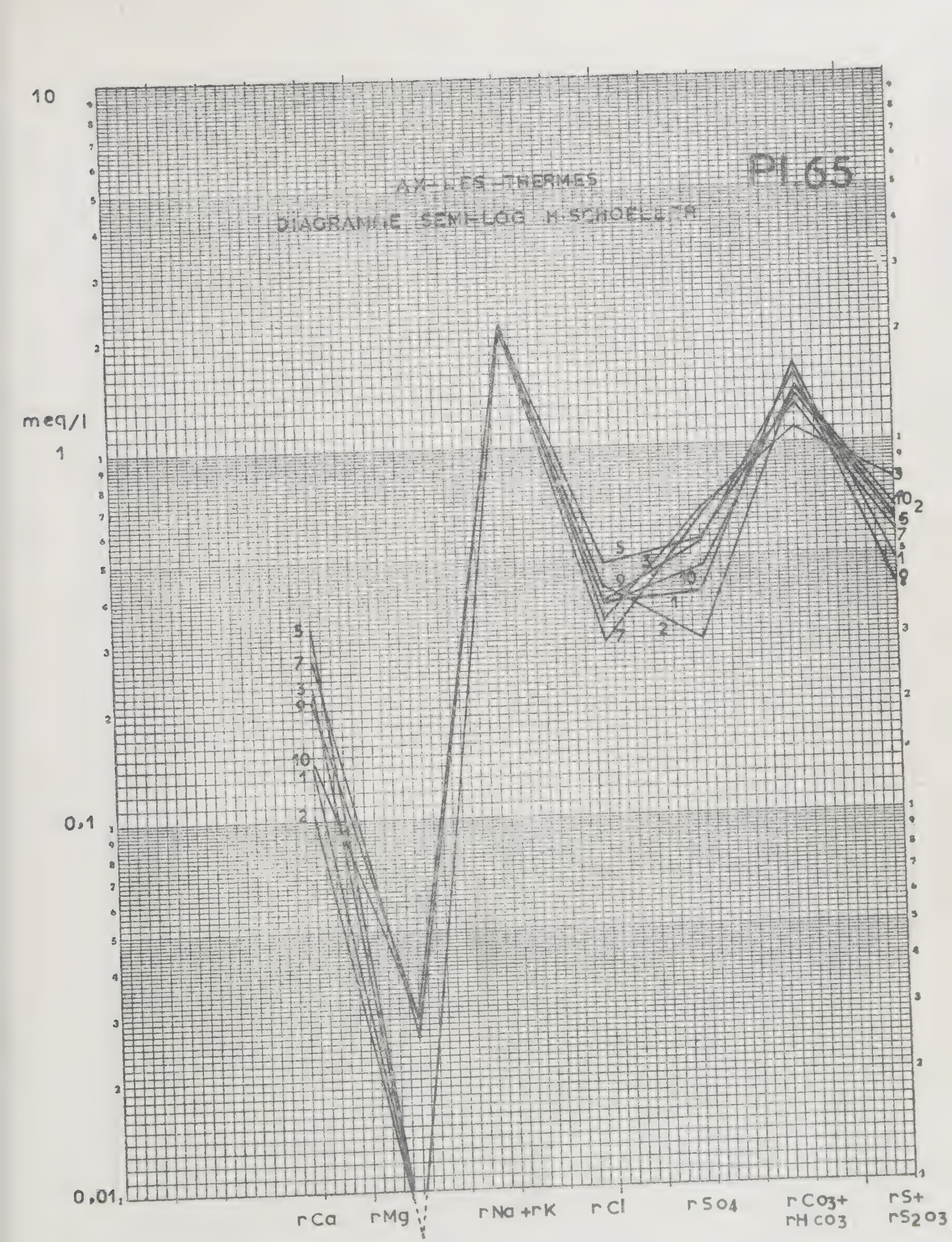

MOLITG-LES-BAINS
Pl.60
meq/l
10
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSO4
rCO3+
rHCO3
rS+
rS2O3
8
7
4
1
5
6
3

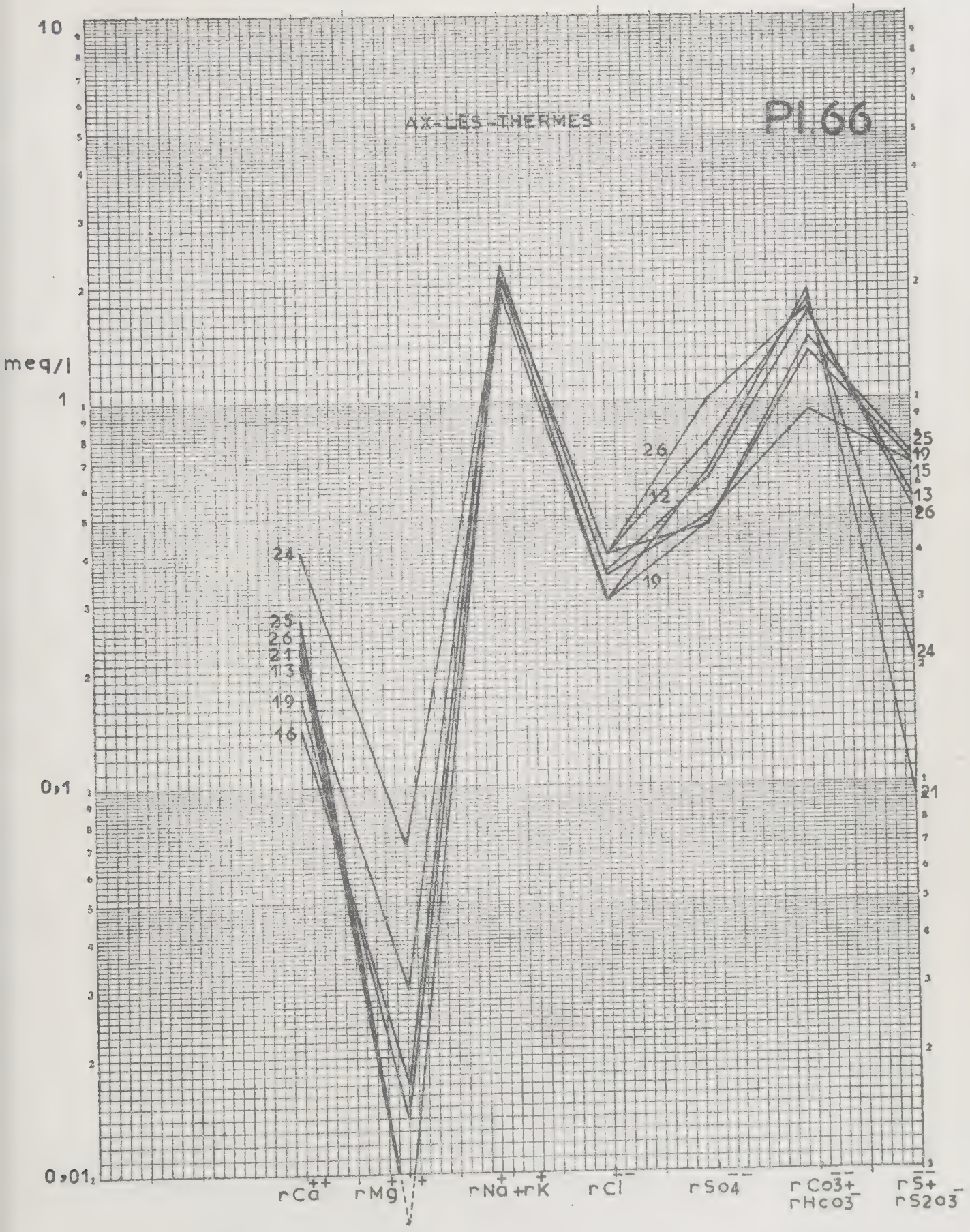

BAÏNS DE NOSSA
PL 61
10
meq/l
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+ rHco3
rS+ rSo3 2

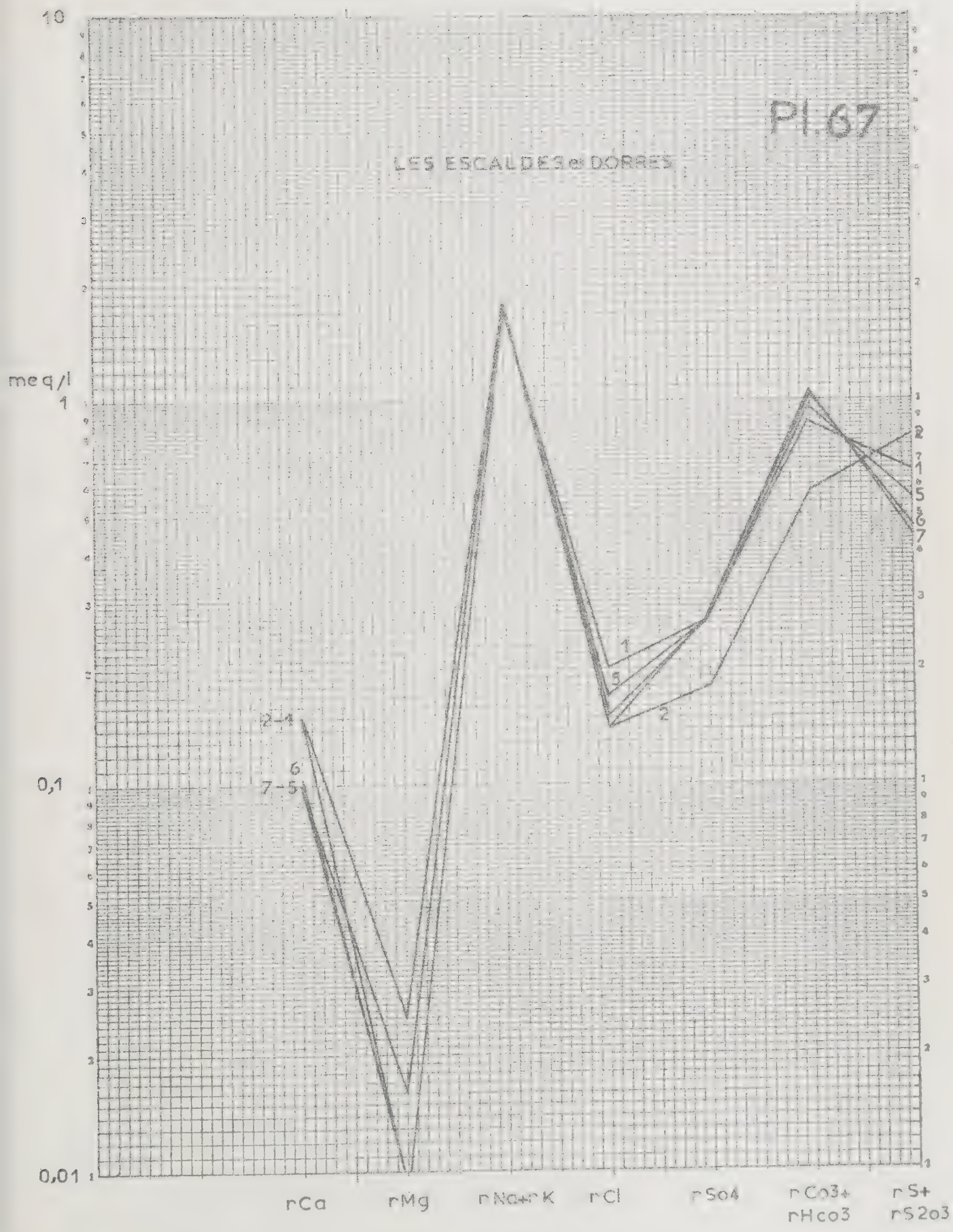

LA PRESTE
PL62
meq/l
10
1
0,1
0,01
5-1
2
4
3
2
1
4
1-2
3
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

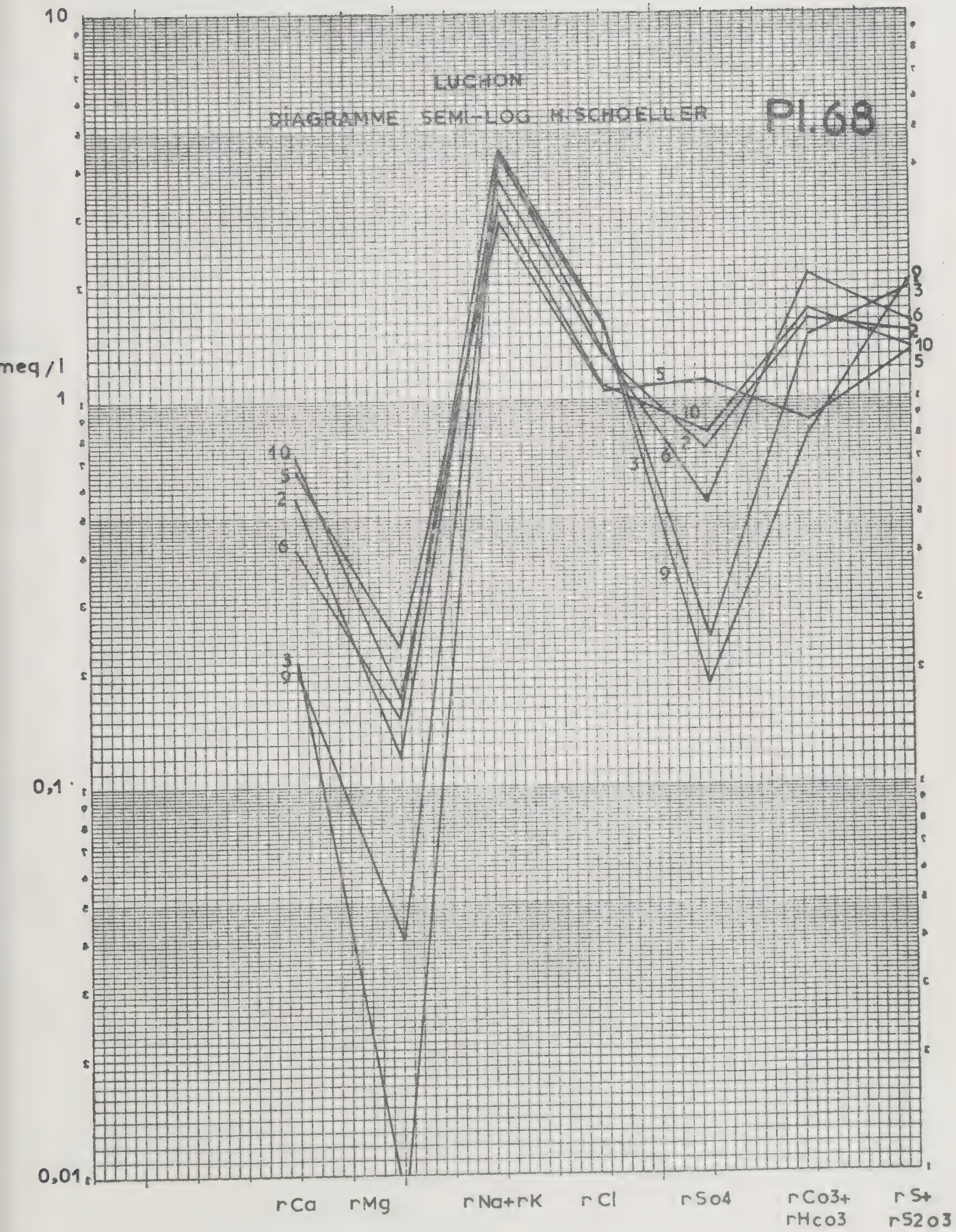

10
meq/l
1
0,1
0,01
ESCOULOUBRE
Pl.63
7-4-2
6
5
6 - 7
1 - 4
5
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSO4
rCO3+
rHCO3
rS+
S2O3

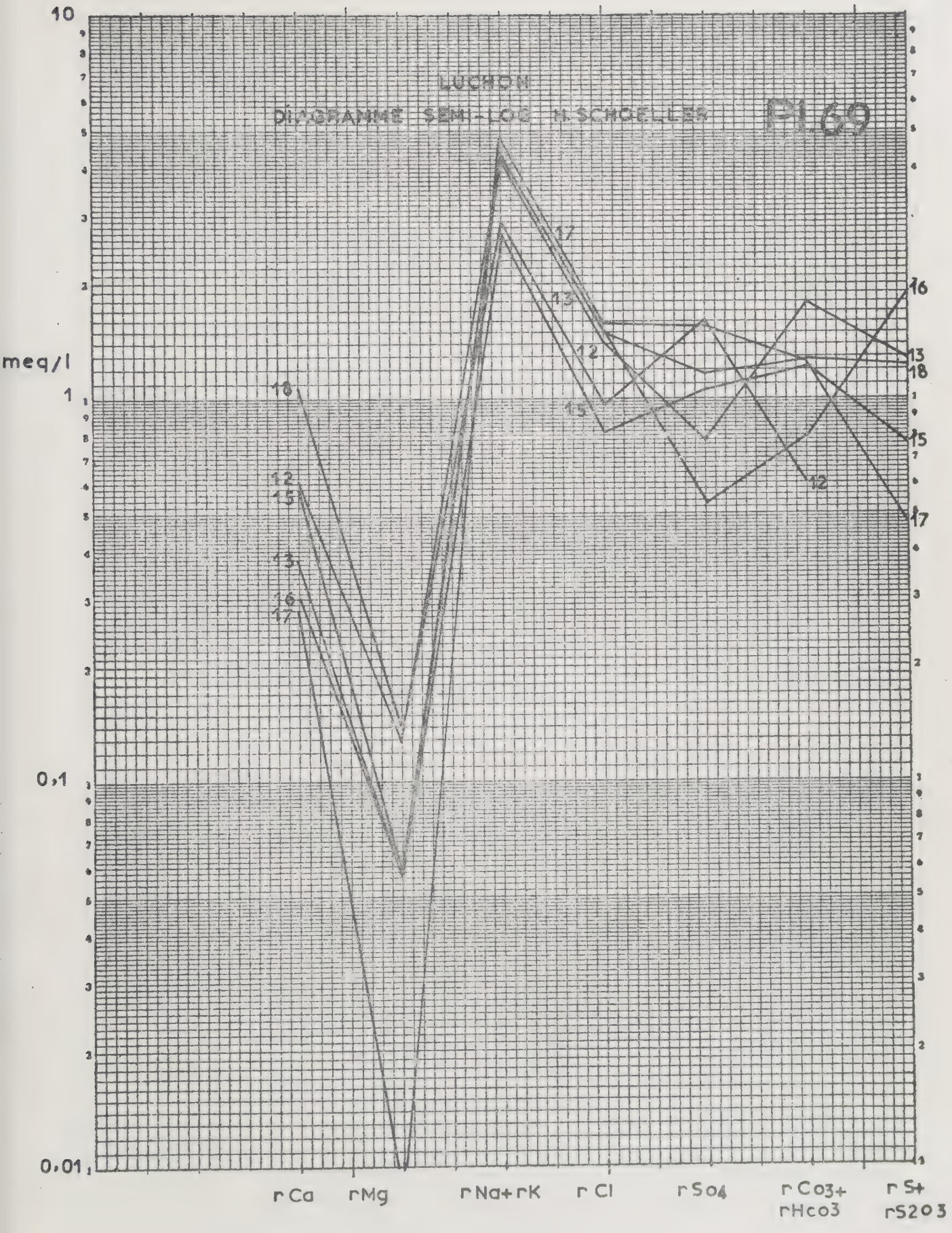

CARCANIERES
PL 64
10
1
0,1
0,01
meq/l
5
8
1
4
3
6
4
1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rSo3

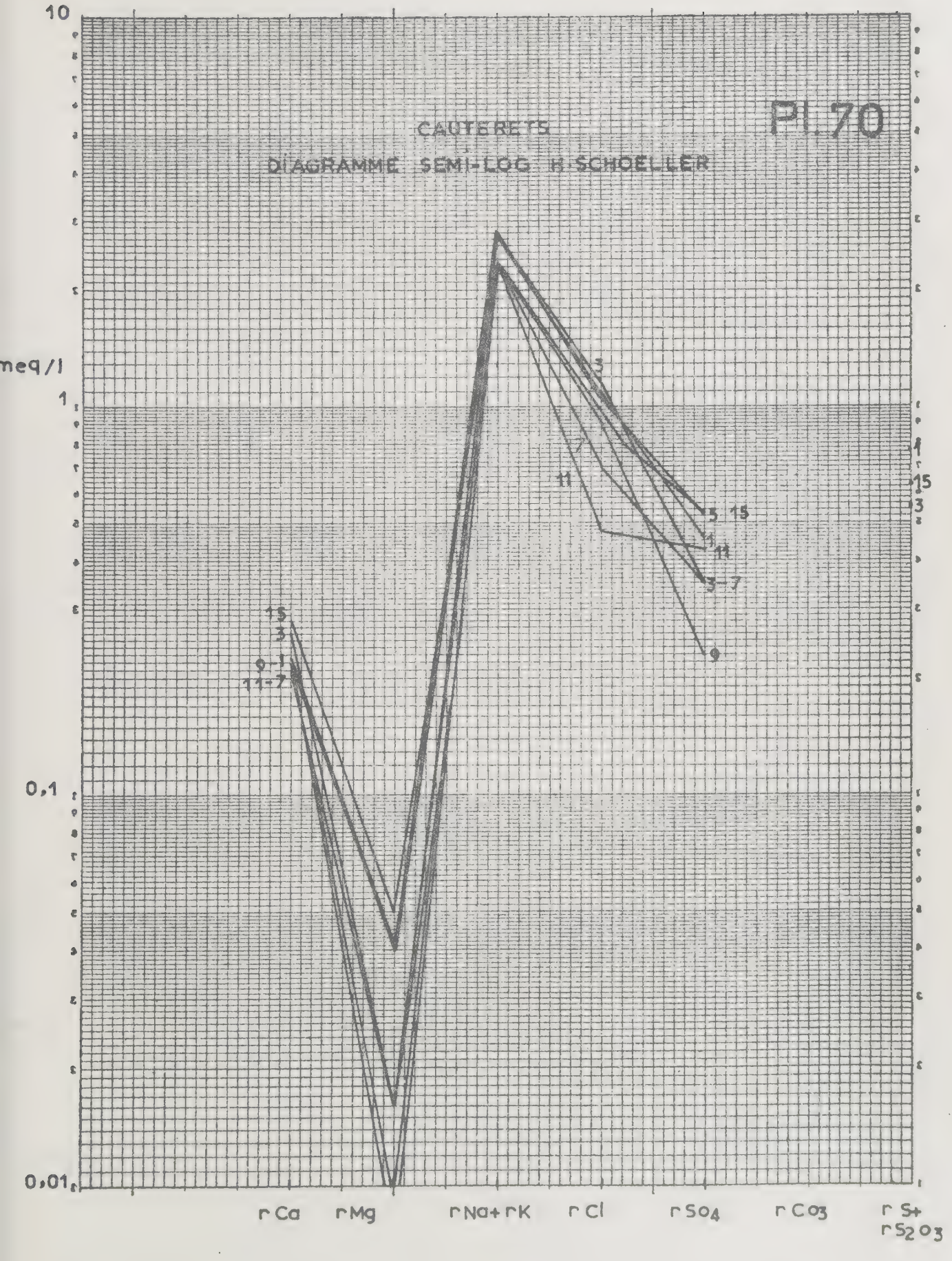

PI.65
AIX-LES-THERMES
DIAGRAMME SEMI-LOG H. SCHOELLER
meq/l
10
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa +rK
rCl
rSO4
rCO3+
rHCO3
rS+
rS2O3

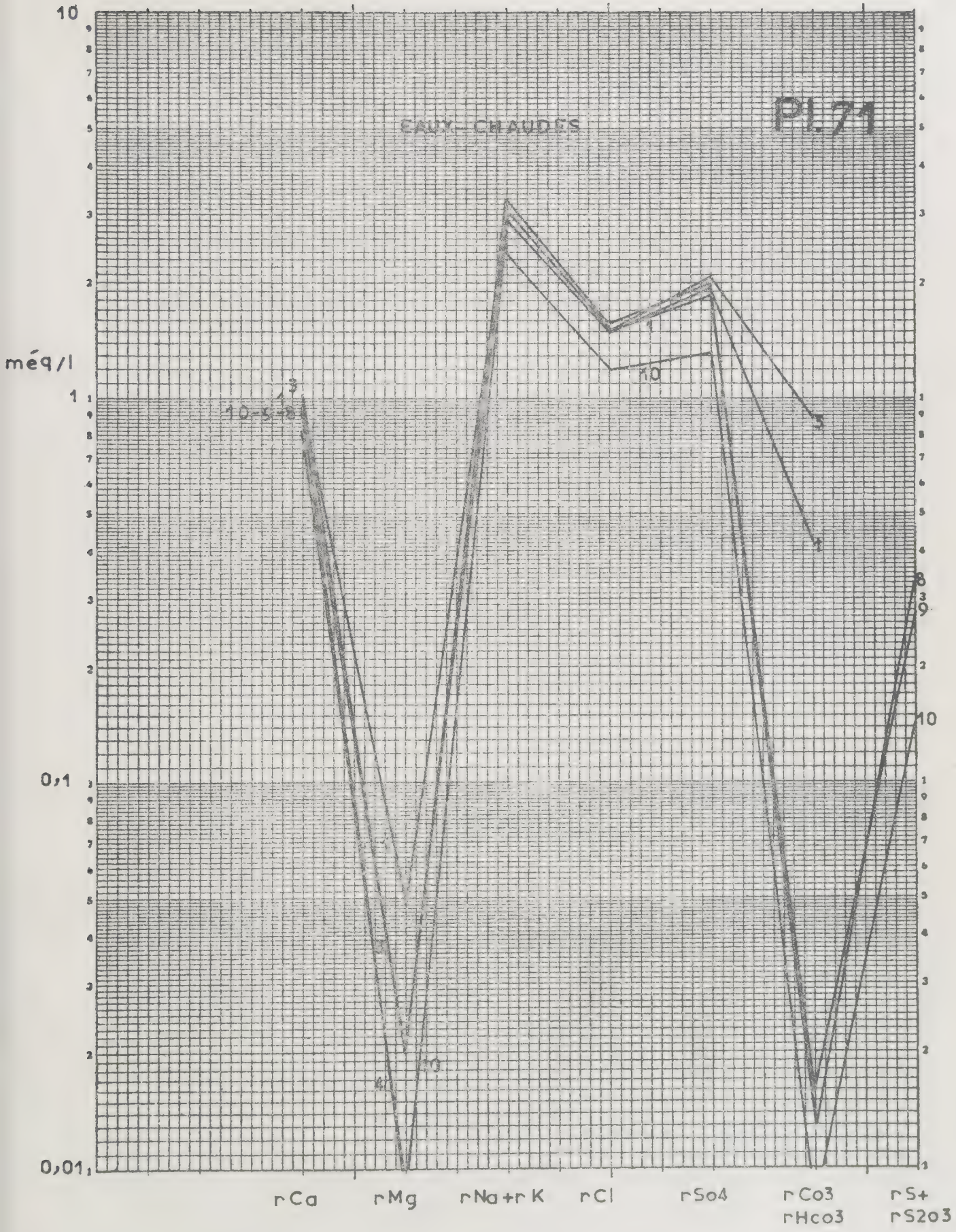

AX-LES-THERMES
PI.66
10
meq/l
1
0,1
0,01
24
25
26
21
13
19
16
26
12
19
25
19
15
13
26
24
21
rCa++
rMg++
rNa+ + rK+
rCl−
rSO4−−
rCO3−− + rHCO3−
rS− + rS2O3−

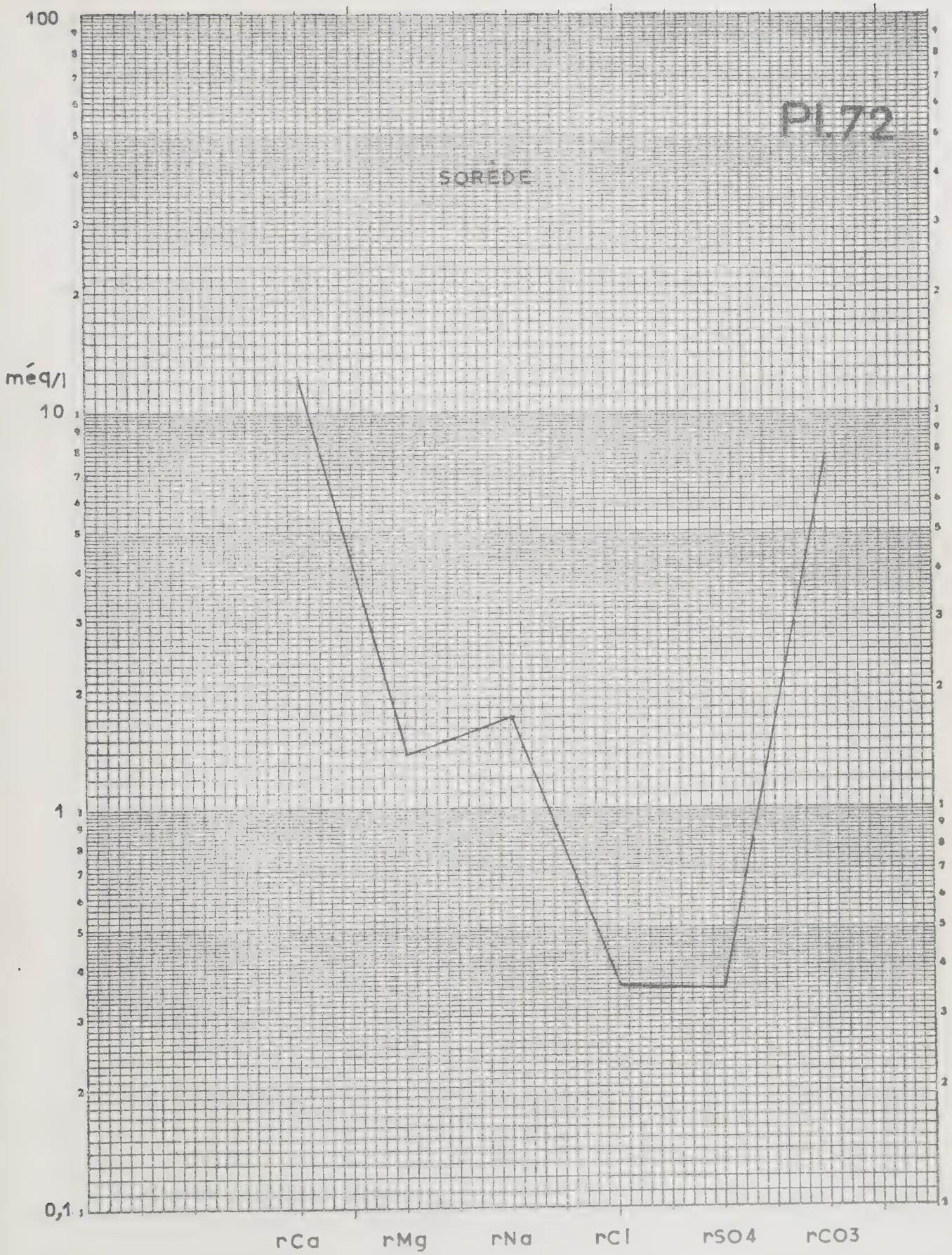

Pl.67
LES ESCALDES et DORRES
10
meq/l
1
0,1
0,01
2-4
6
7-5
1
3
2
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

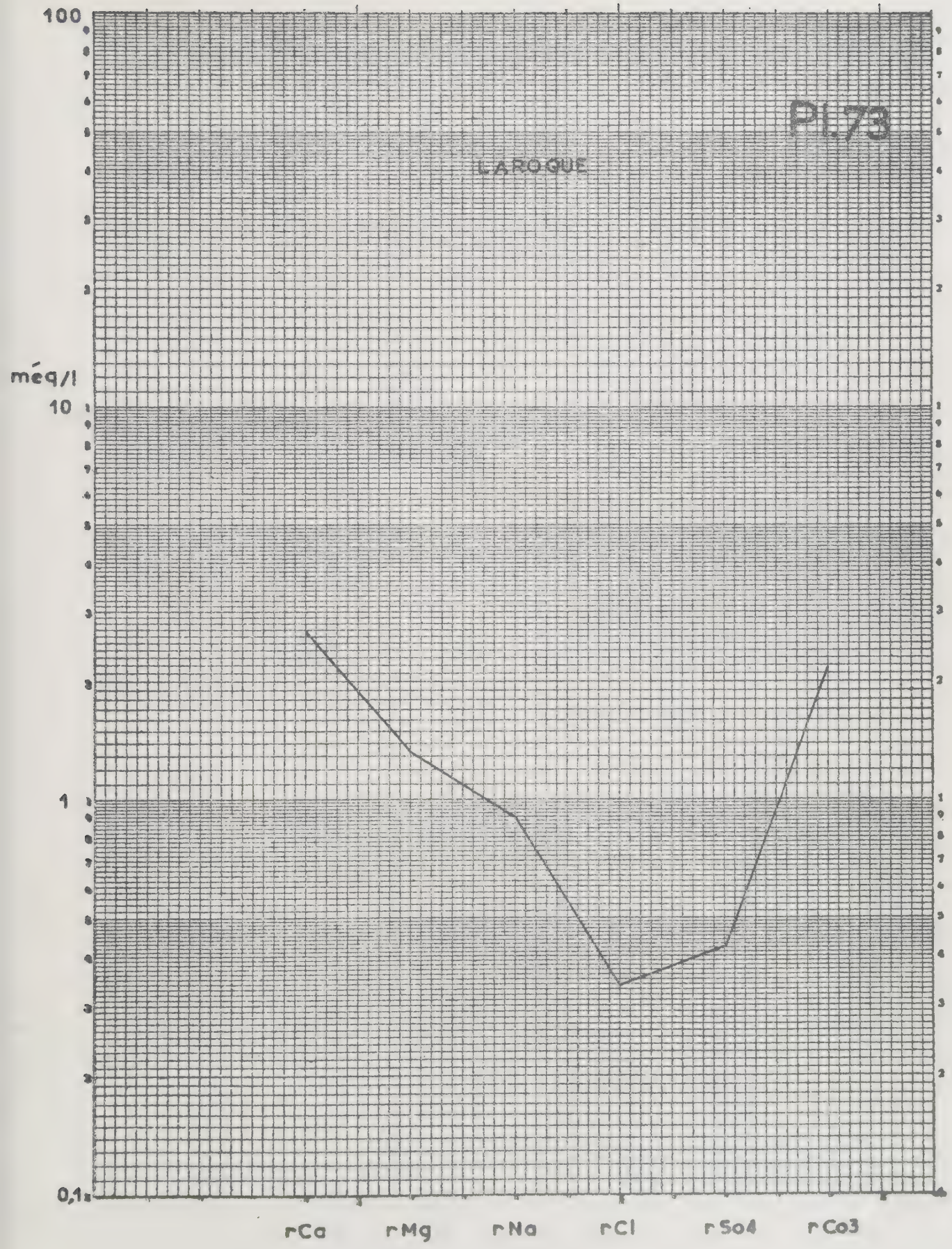

LUCHON
DIAGRAMME SEMI-LOG. H. SCHOELLER
PI.68
meq/l
10
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+ rHco3
rS+ rS2o3

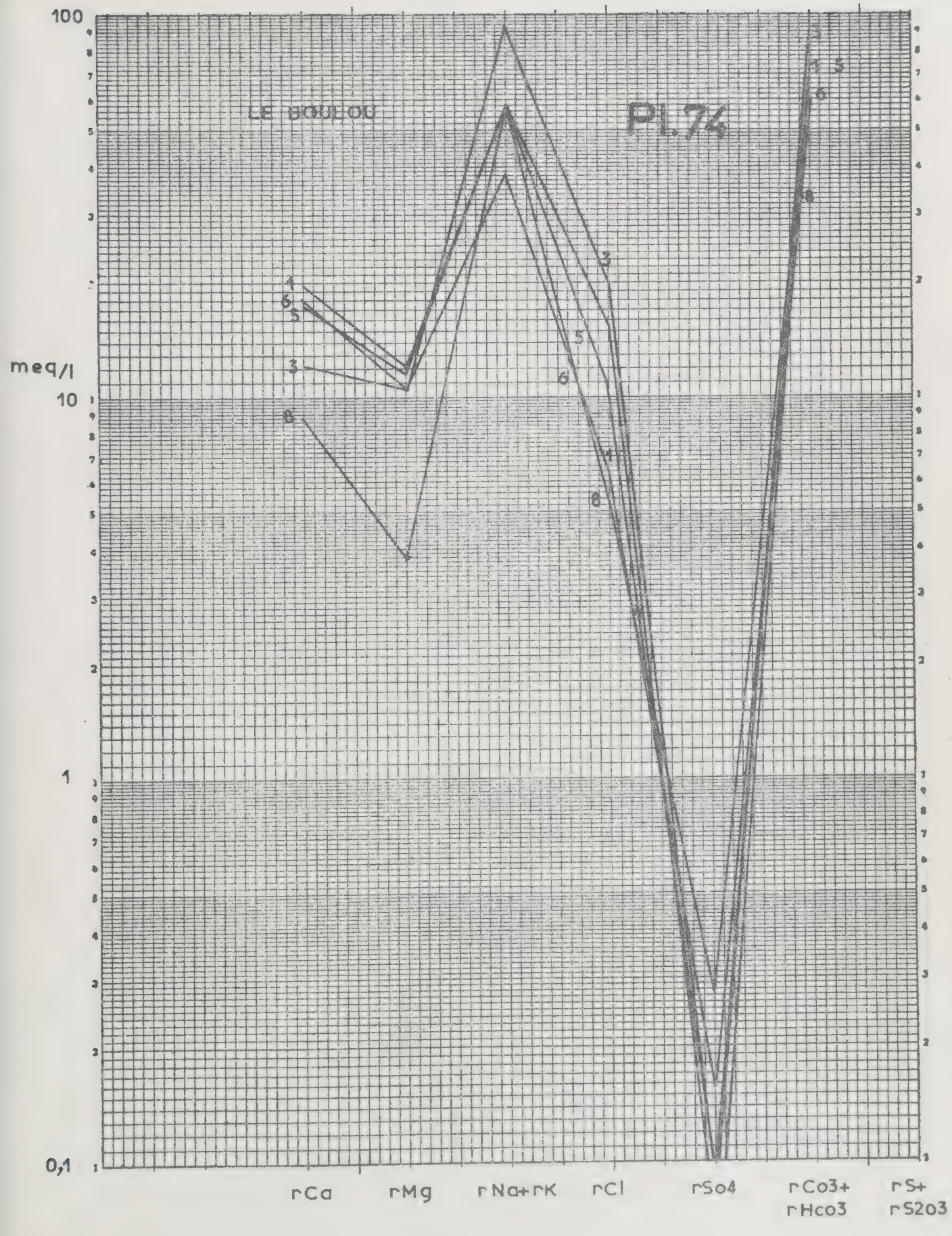

LUCHON
DIAGRAMME SEMI-LOG. H. SCHOELLER
PL69
meq/l
10
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+ rHco3
rS+ rS2O3
16
17
13
12
15
18

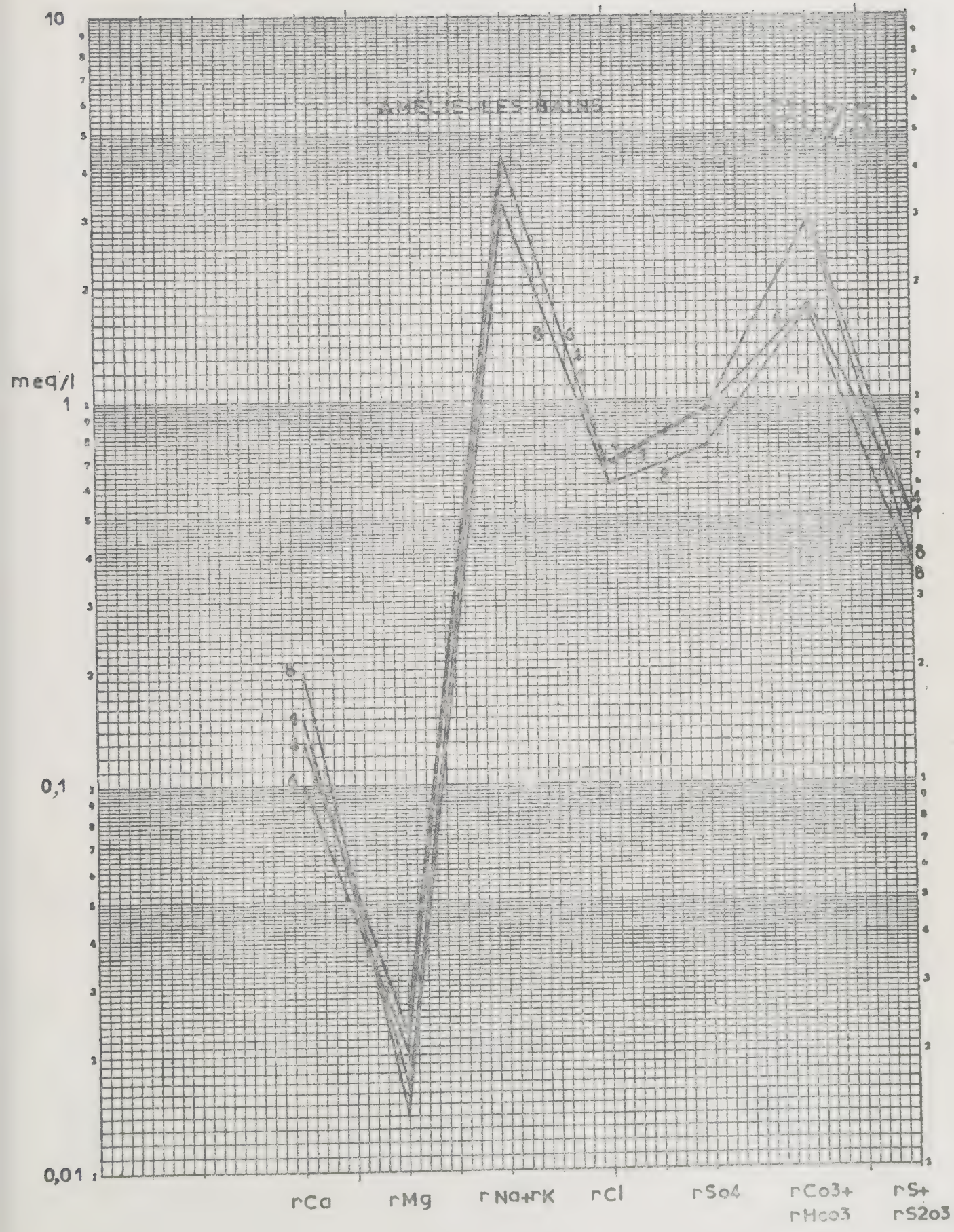

Pl.70
CAUTERETS
DIAGRAMME SEMI-LOG H. SCHOELLER
meq/l
10
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSO4
rCO3
rS+rS2O3

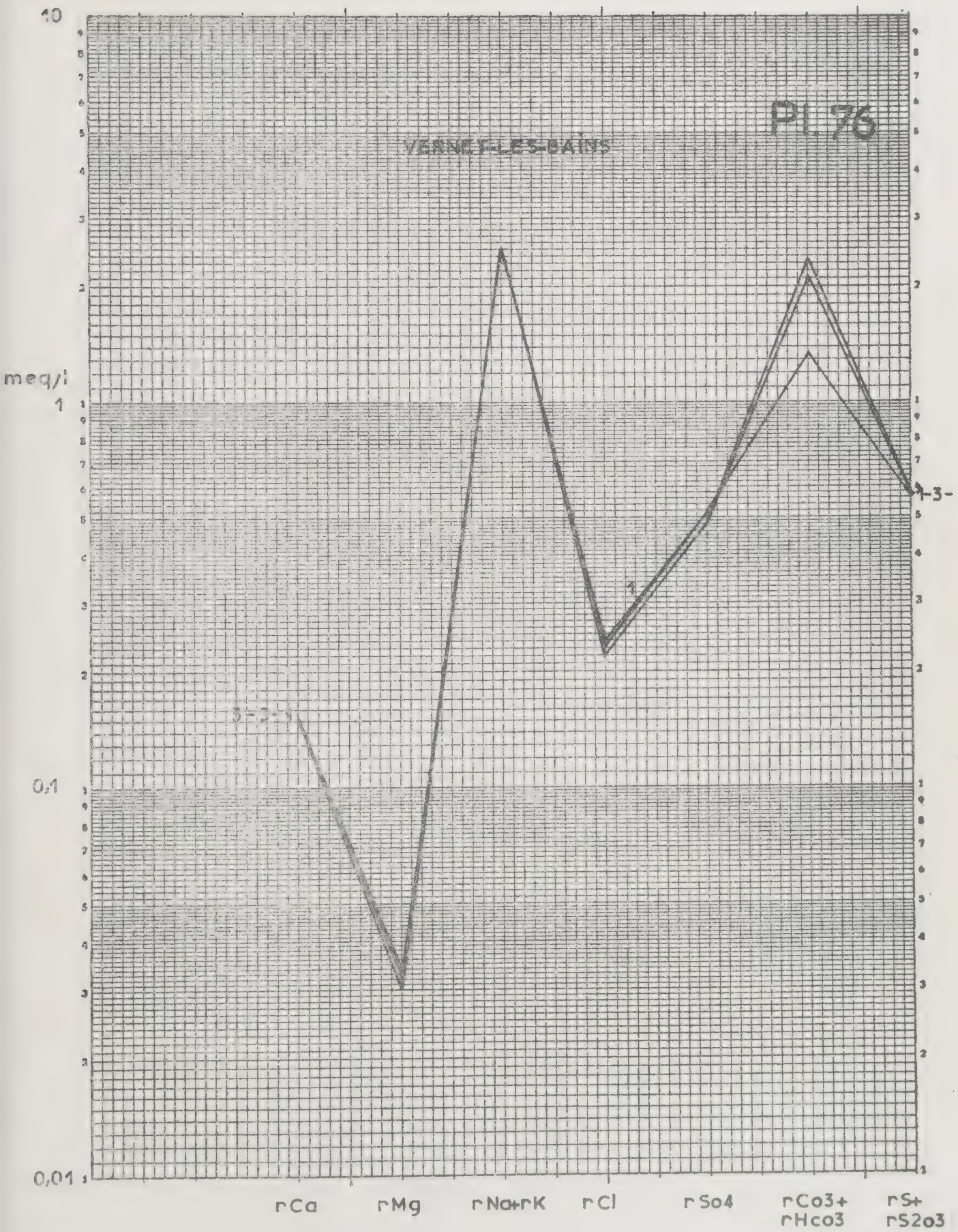

CAUY-CHAUDES
Pl.71
méq/l
10
1
0,1
0,01
10-5-81
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3
rHco3
rS+
rS2o3

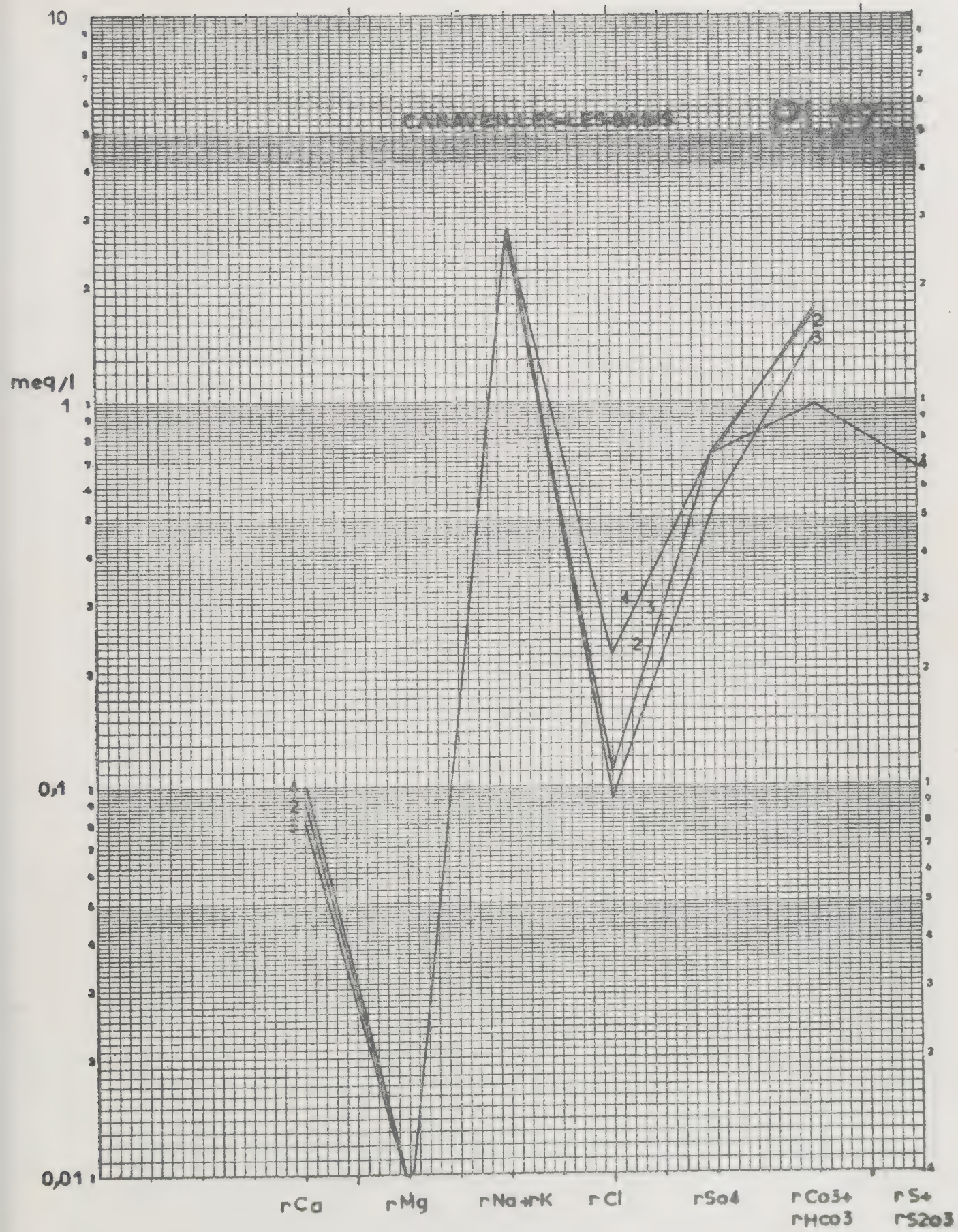

PL72
SORÈDE
méq/l
100
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa
rCl
rSO4
rCO3

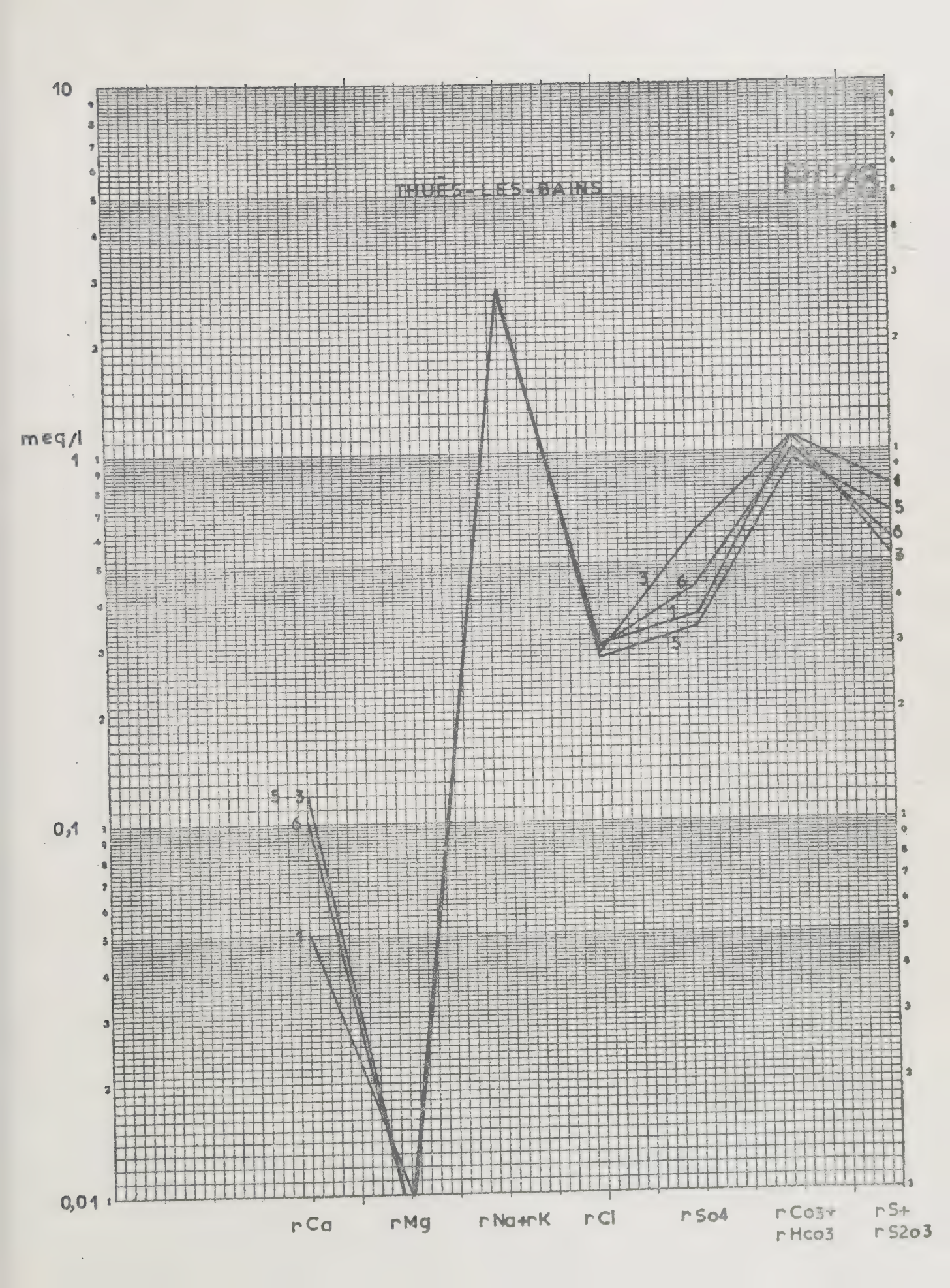

100
méq/l
10
1
0,1
PL73
LAROQUE
rCa
rMg
rNa
rCl
rSo4
rCo3

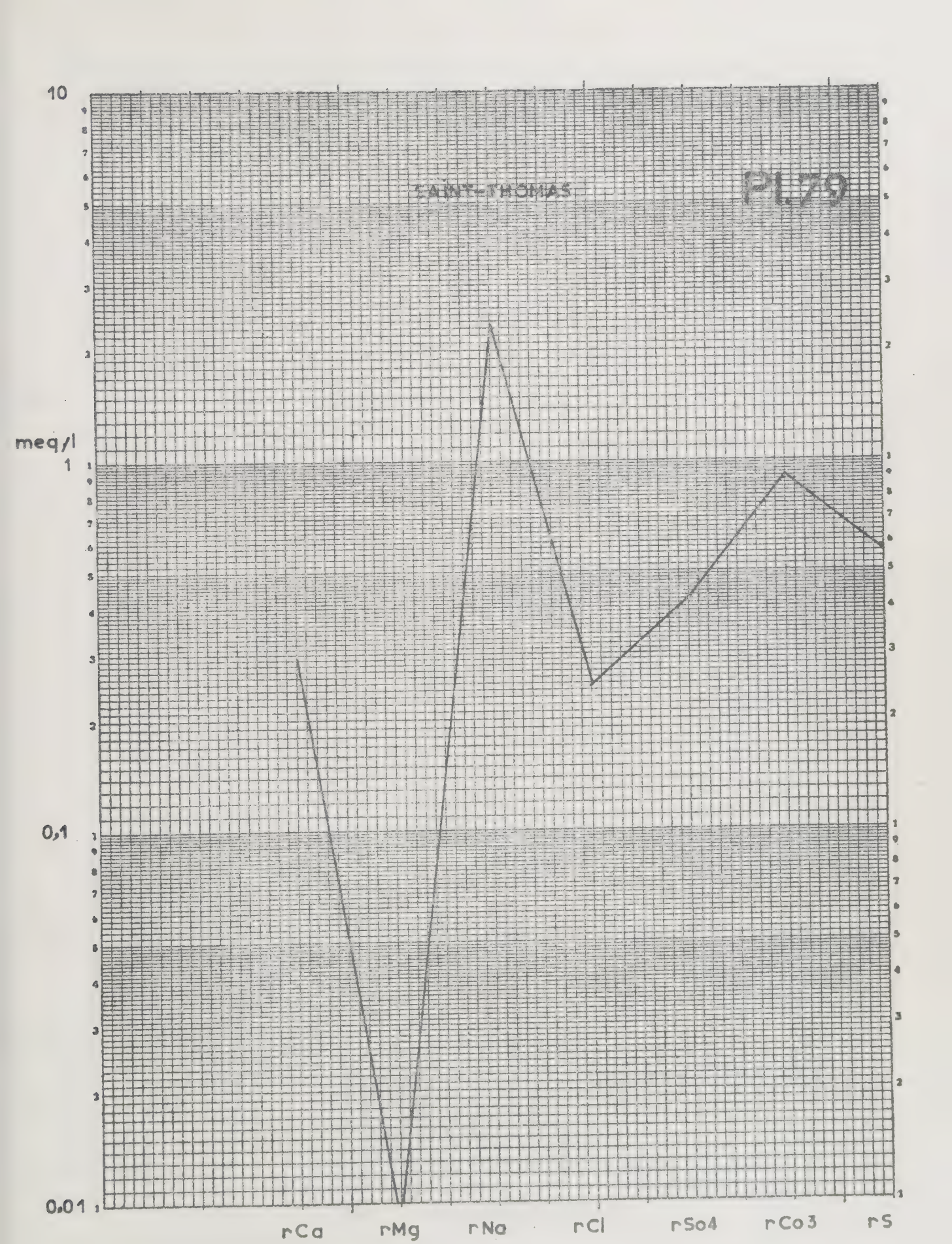

LE BOULOU
PL.74
100
meq/l
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

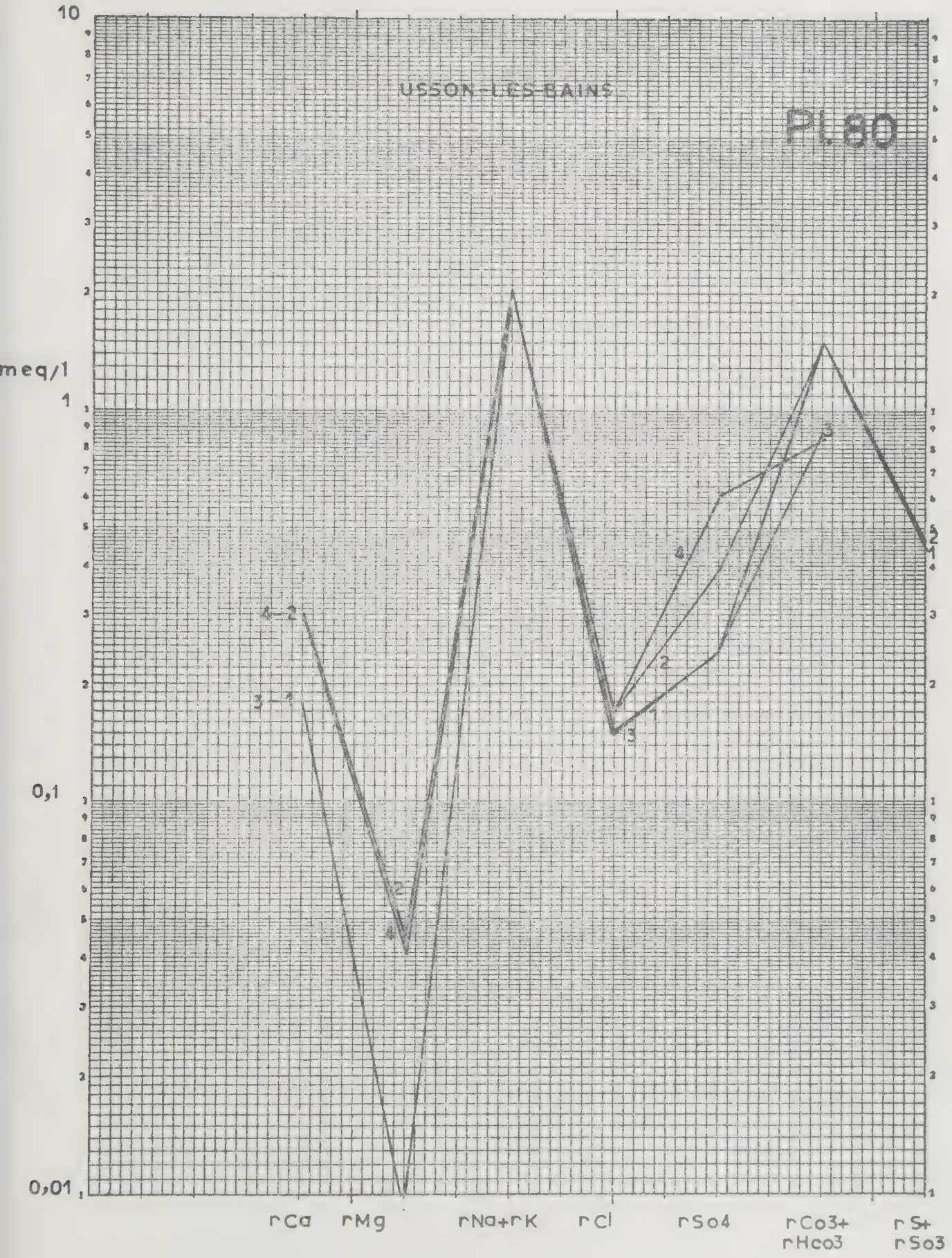

10
meq/l
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

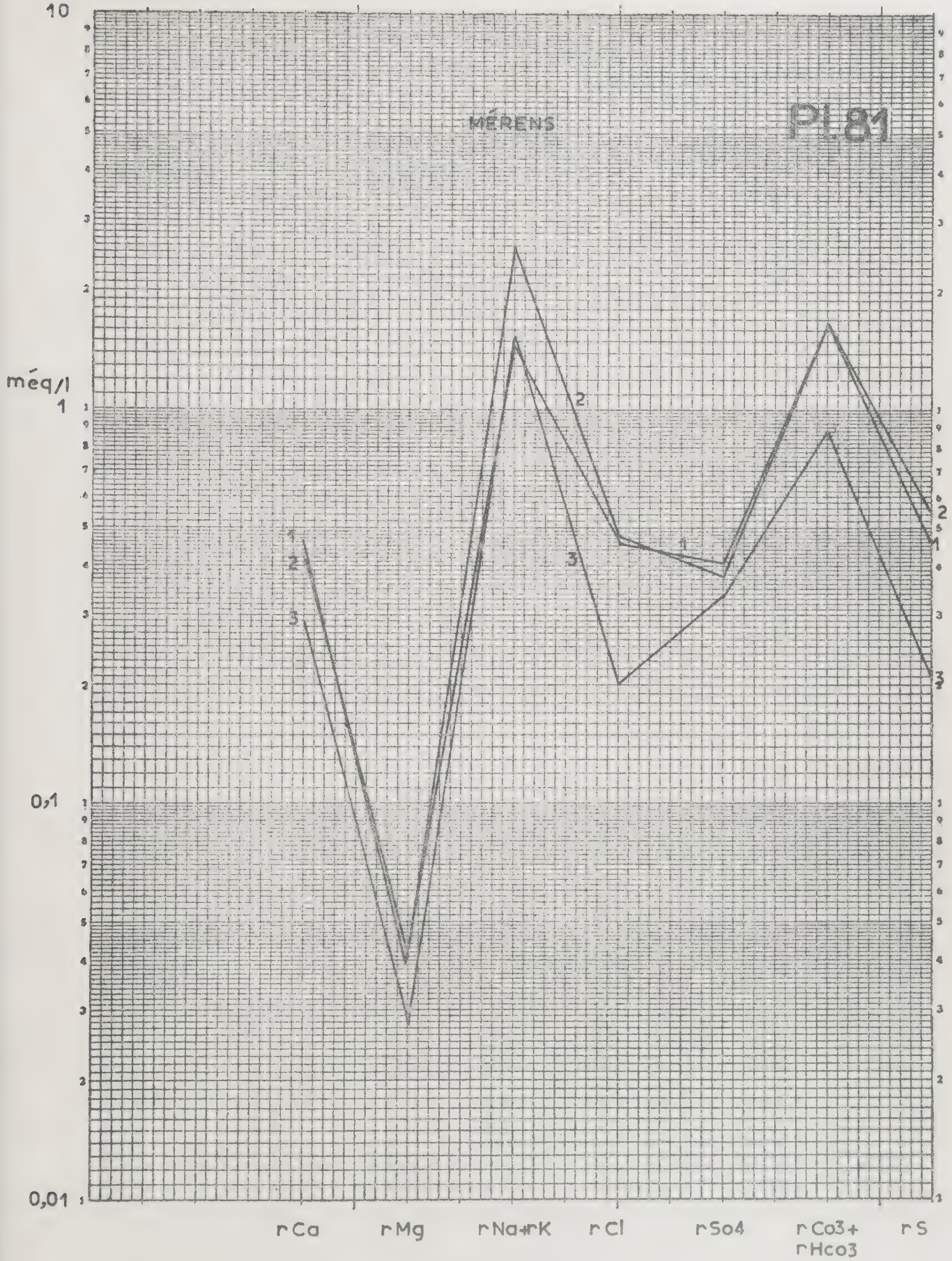

PL 76
VERNET-LES-BAINS
meq/l
10
1
0,1
0,01
1-3-
3-2-1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

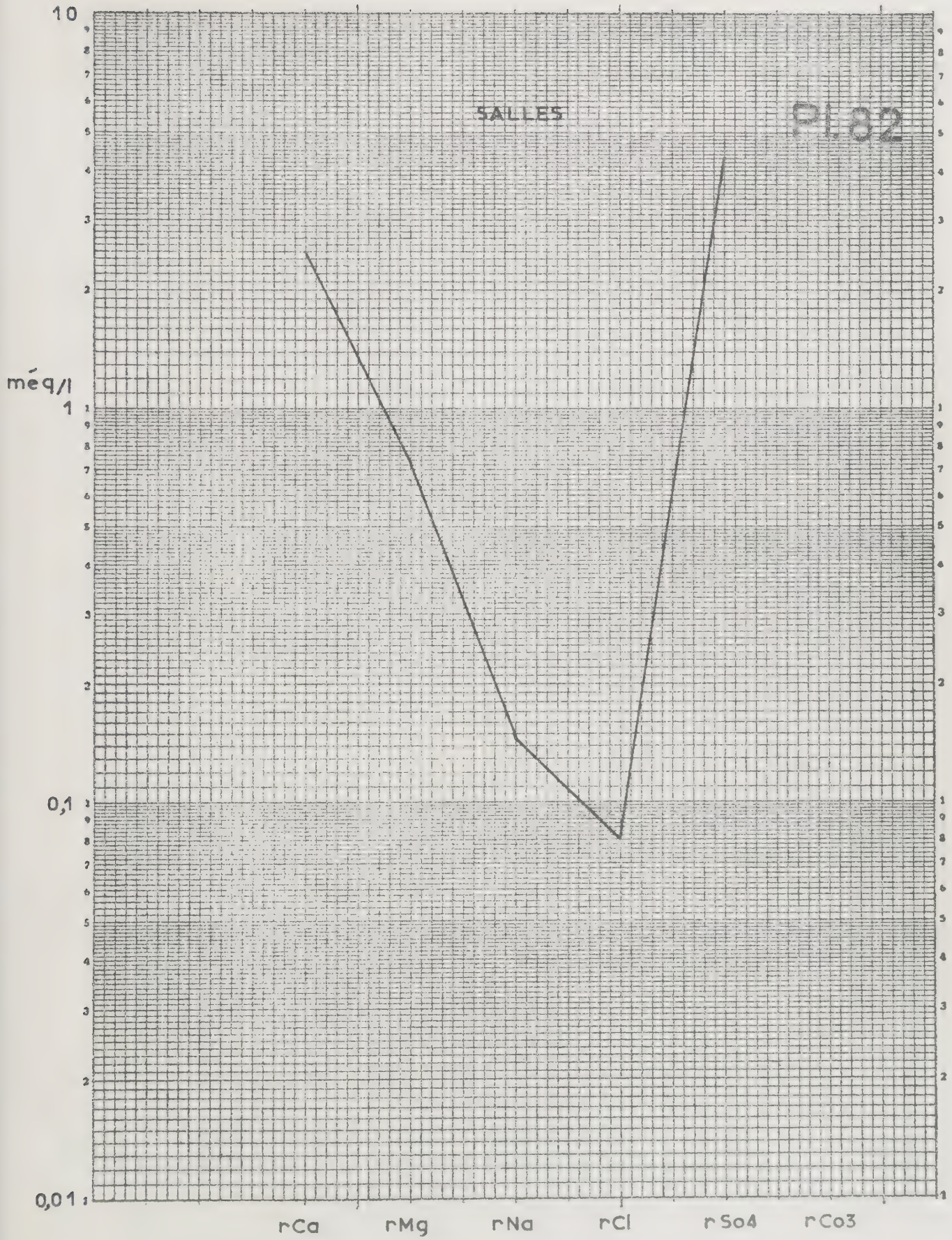

10
meq/l
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

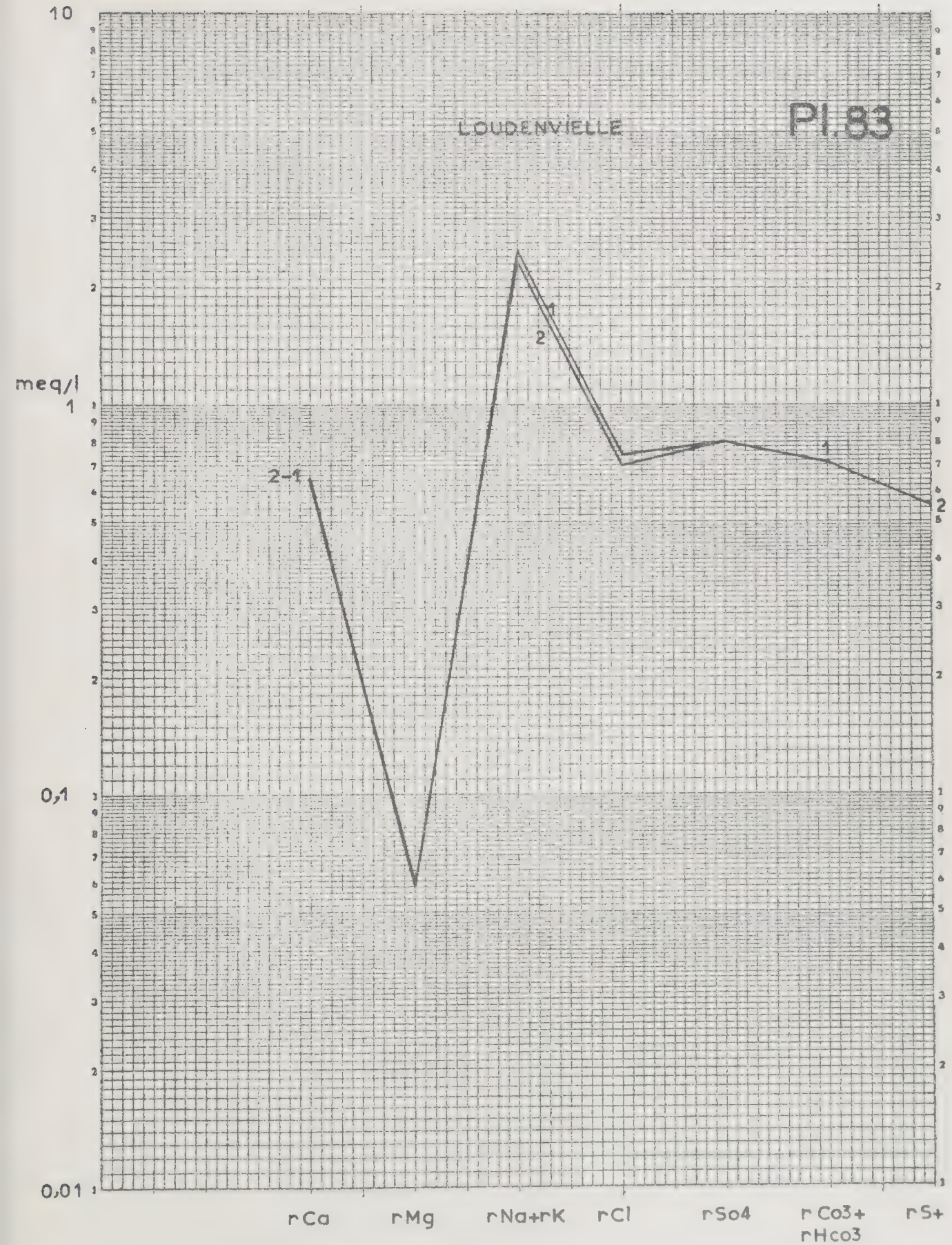

10
meq/l
1
0,1
0,01
THUÉS-LES-BAINS
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

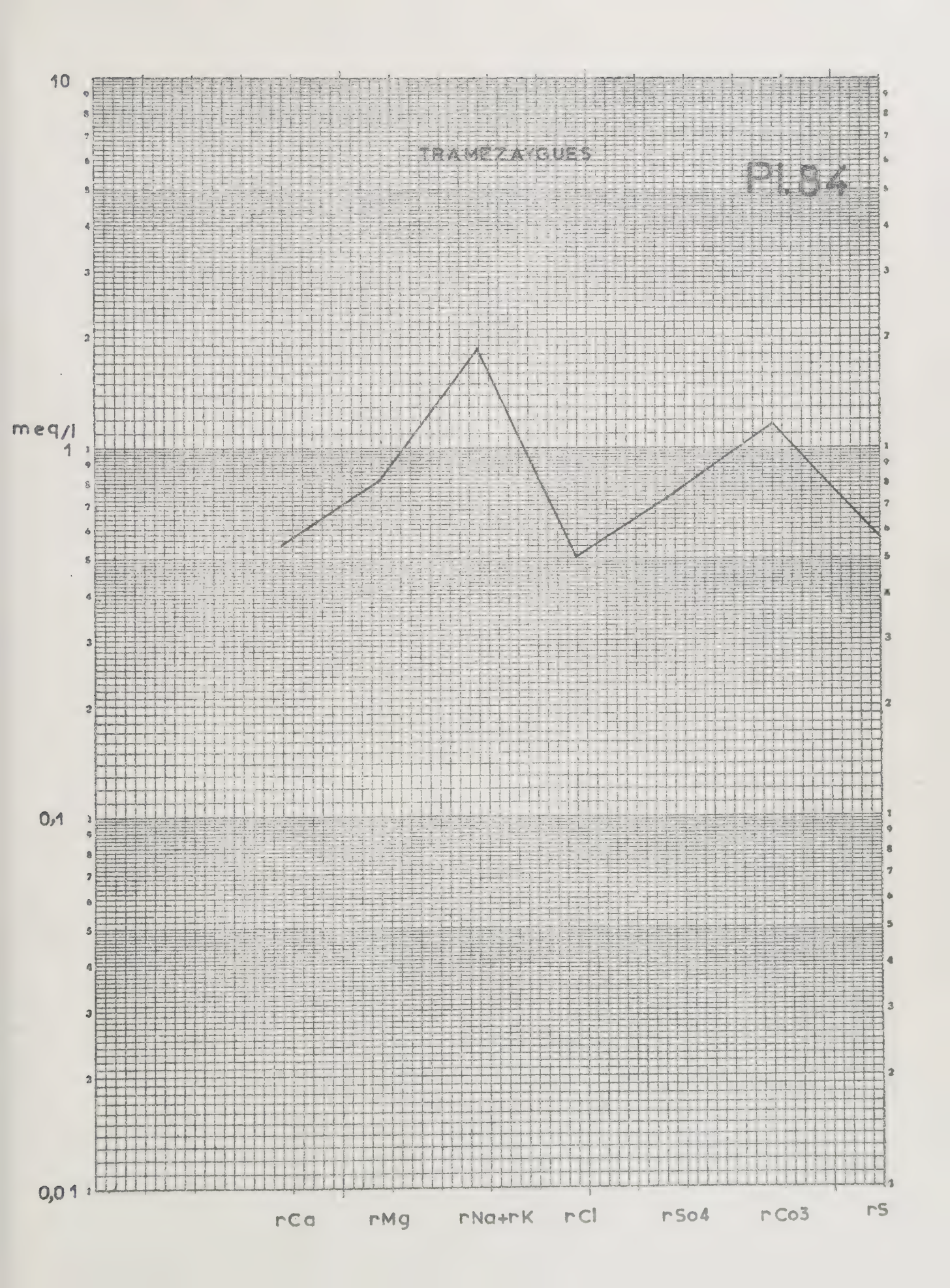

10
meq/l
1
0,1
0,01
SAINT-THOMAS
PL79
rCa
rMg
rNa
rCl
rSo4
rCo3
rS

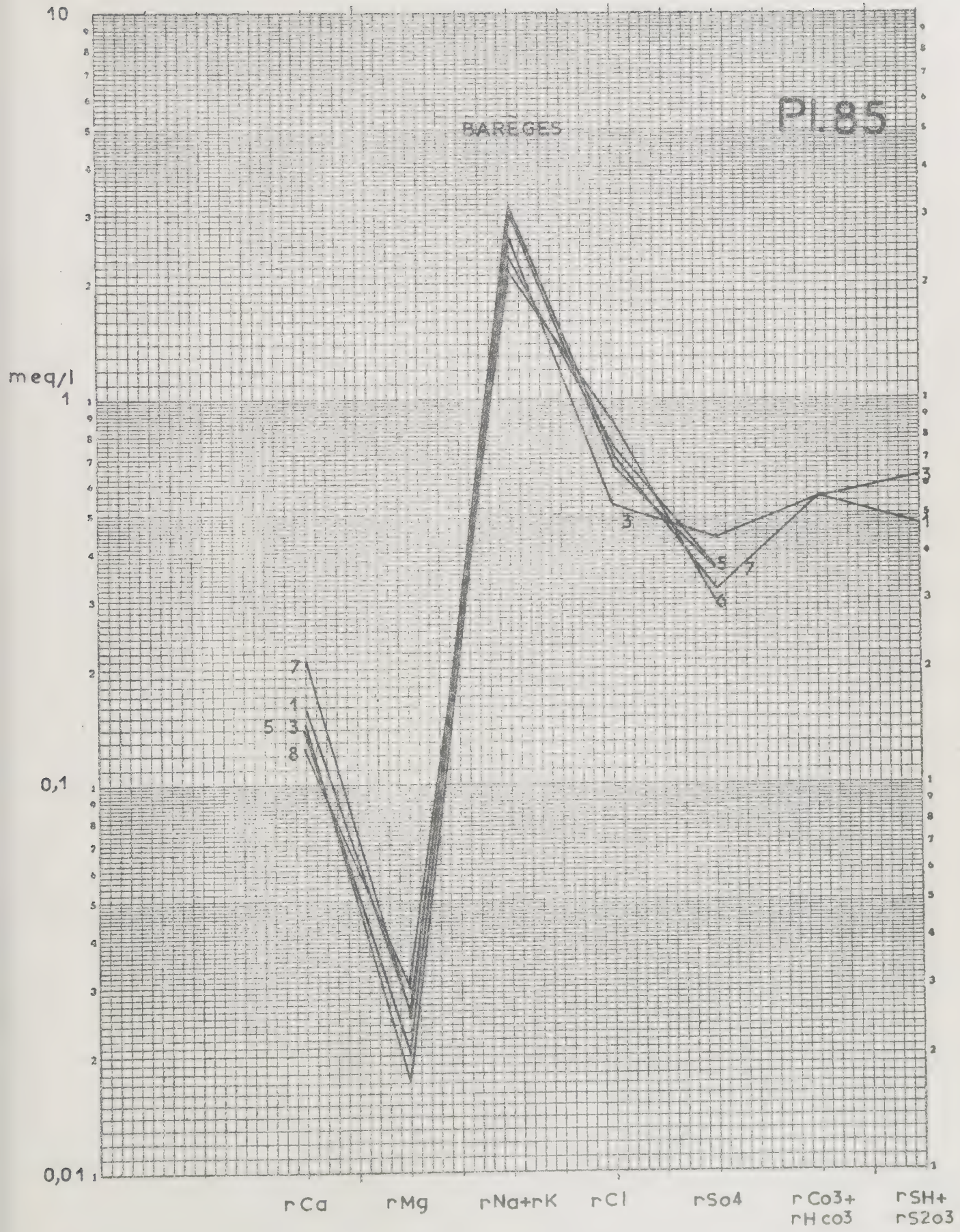

USSON-LES-BAINS
PL.80
10
meq/l
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+ rHco3
rS+ rSo3

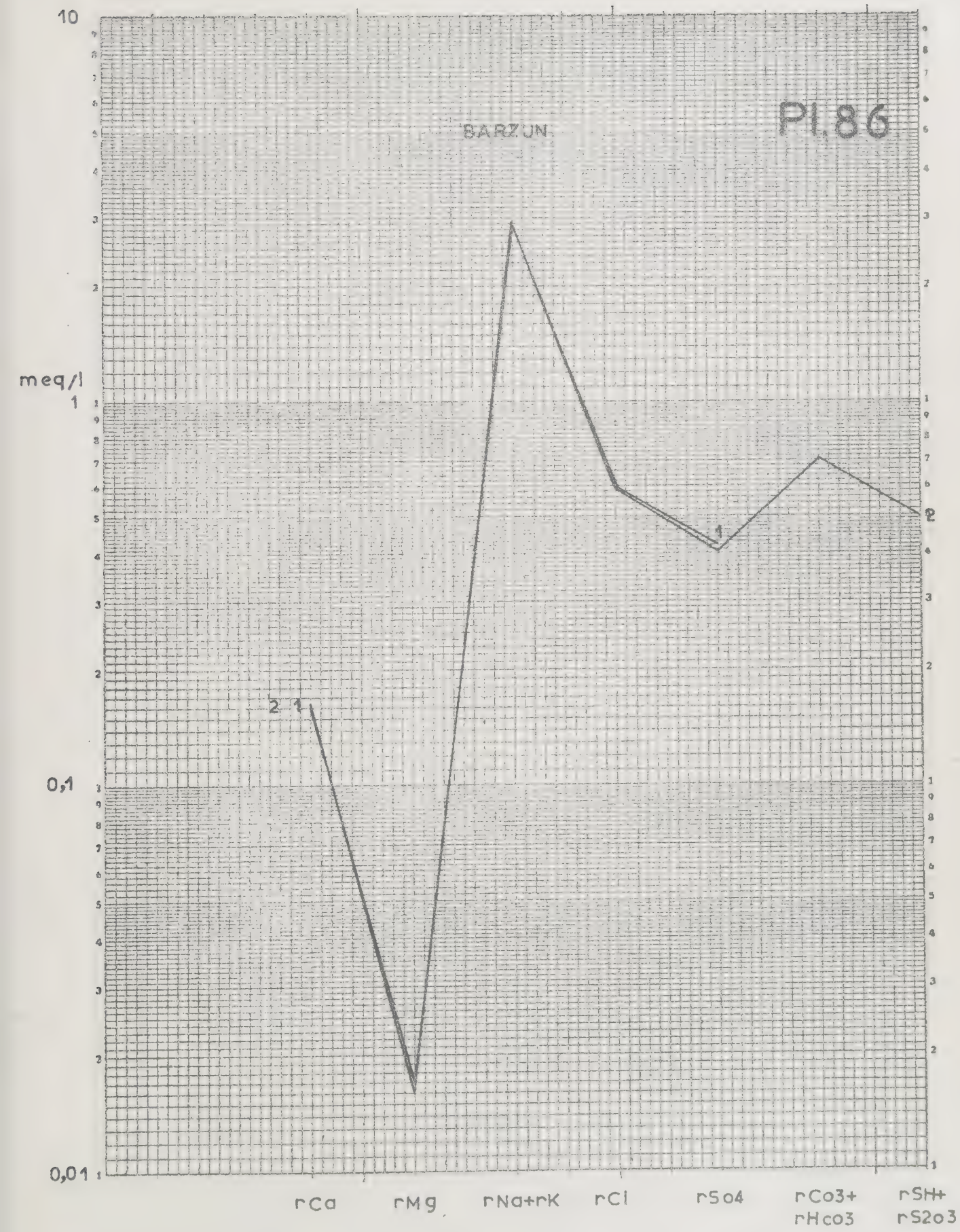

MÉRENS
Pl.81
méq/l
10
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS

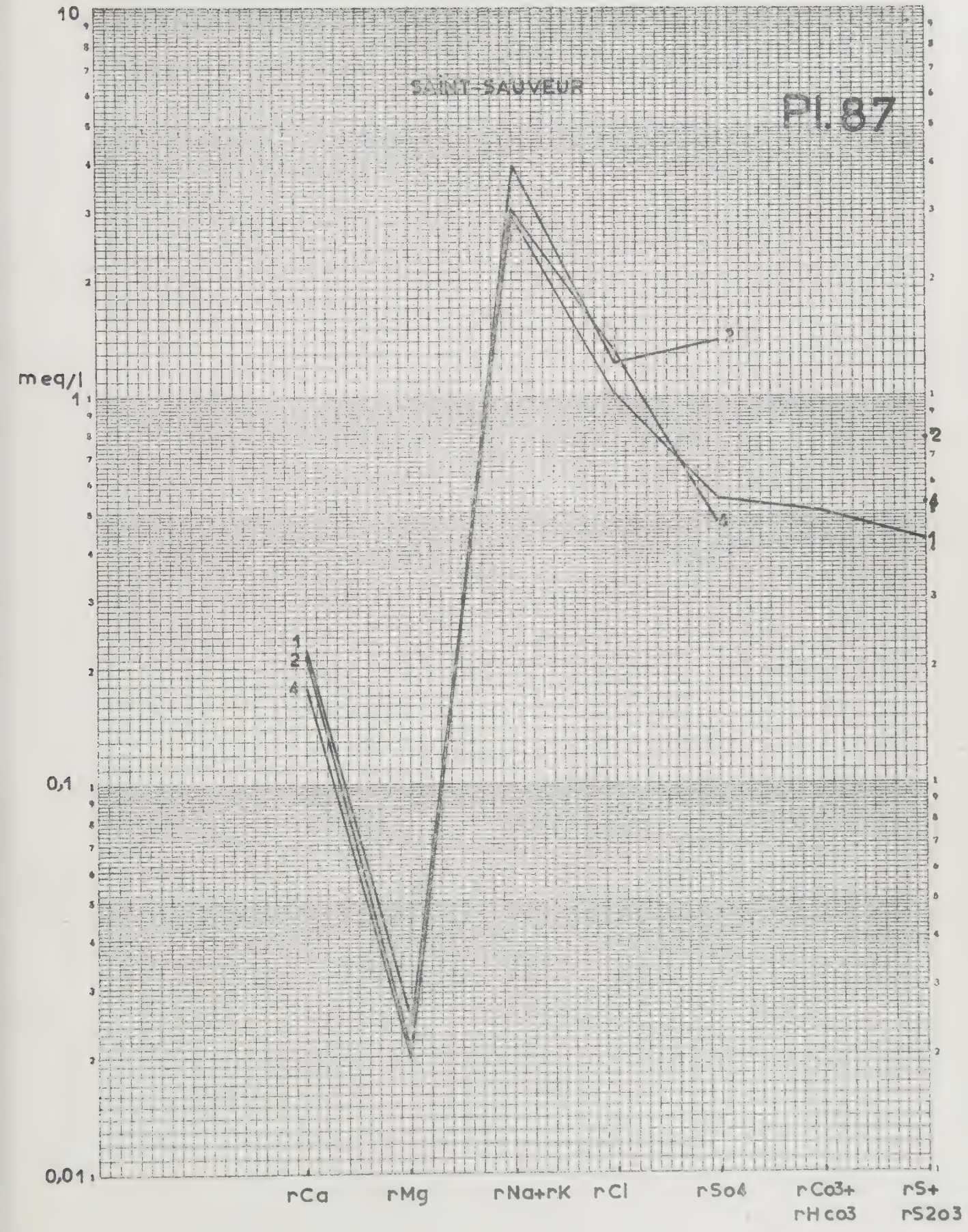

SALLES
PL.82
10
méq/l
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa
rCl
rSo4
rCo3

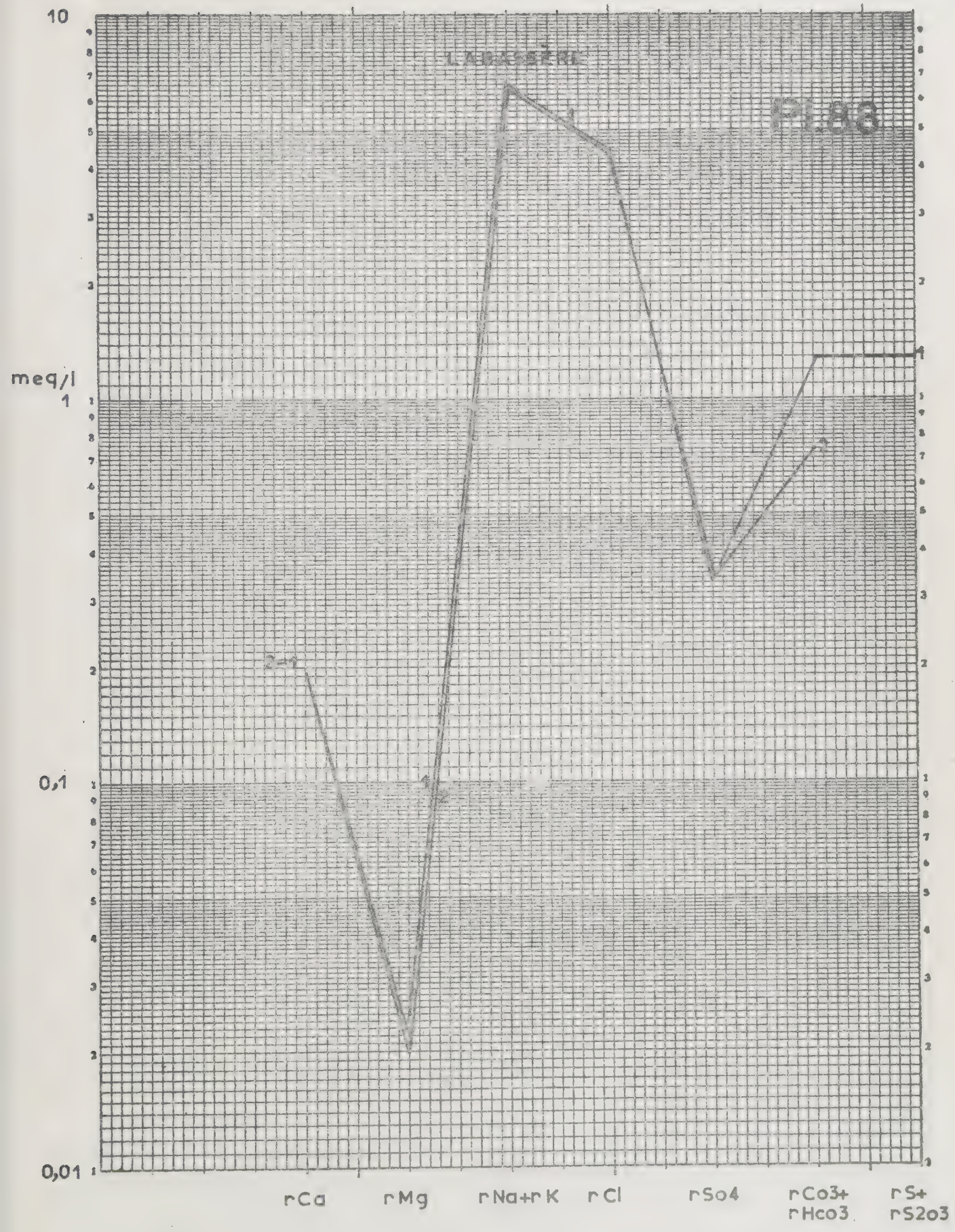

LOUDENVIELLE
P1.83
10
meq/l
1
0,1
0,01
2-1
1
2
1
2
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+

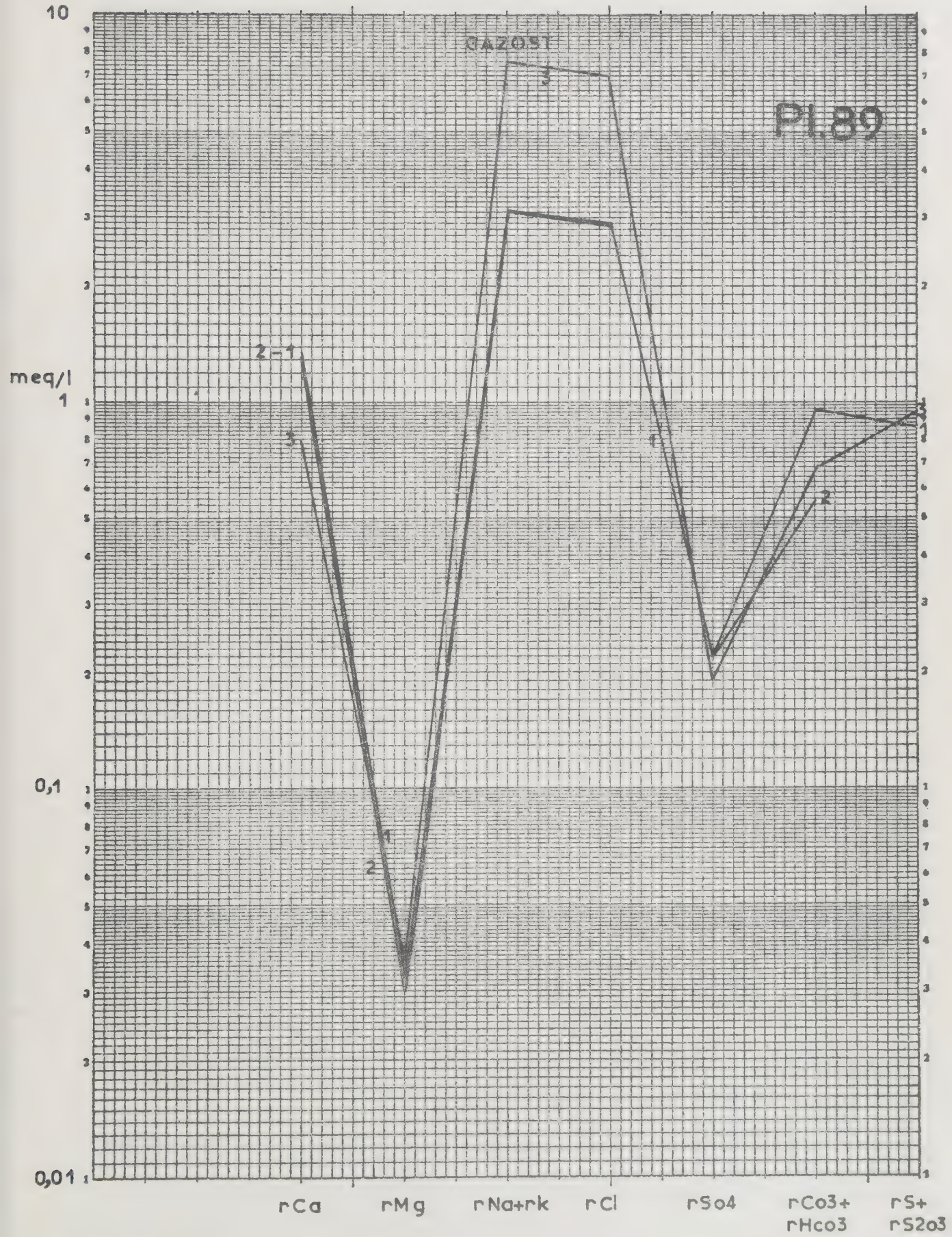

TRAMEZAYGUES
P1.84
meq/l
10
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3
rS

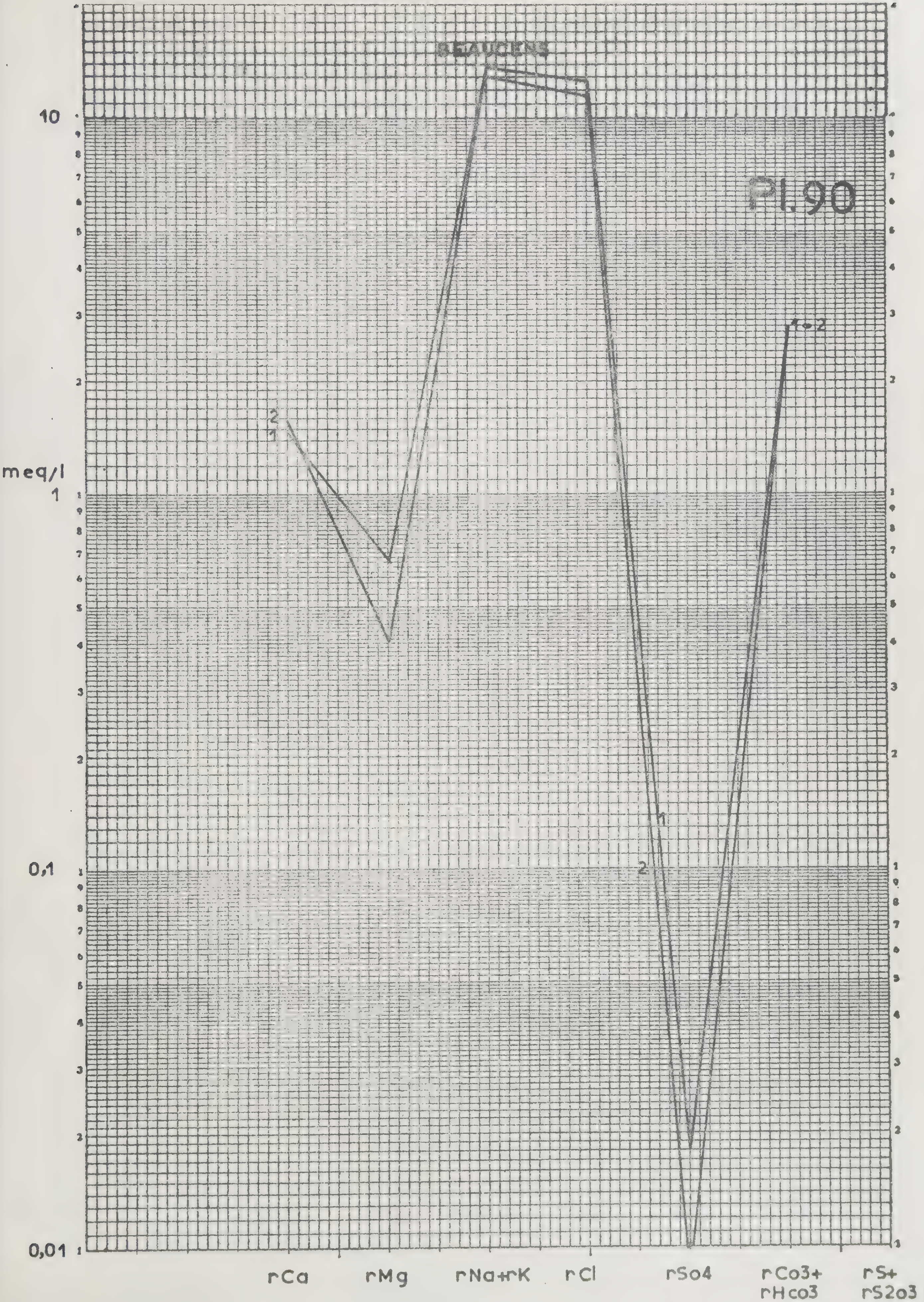

10
meq/l
1
0,1
0,01
BAREGES
PI.85
7
1
5 3
8
3
5
7
6
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rH co3
rSH+
rS2o3

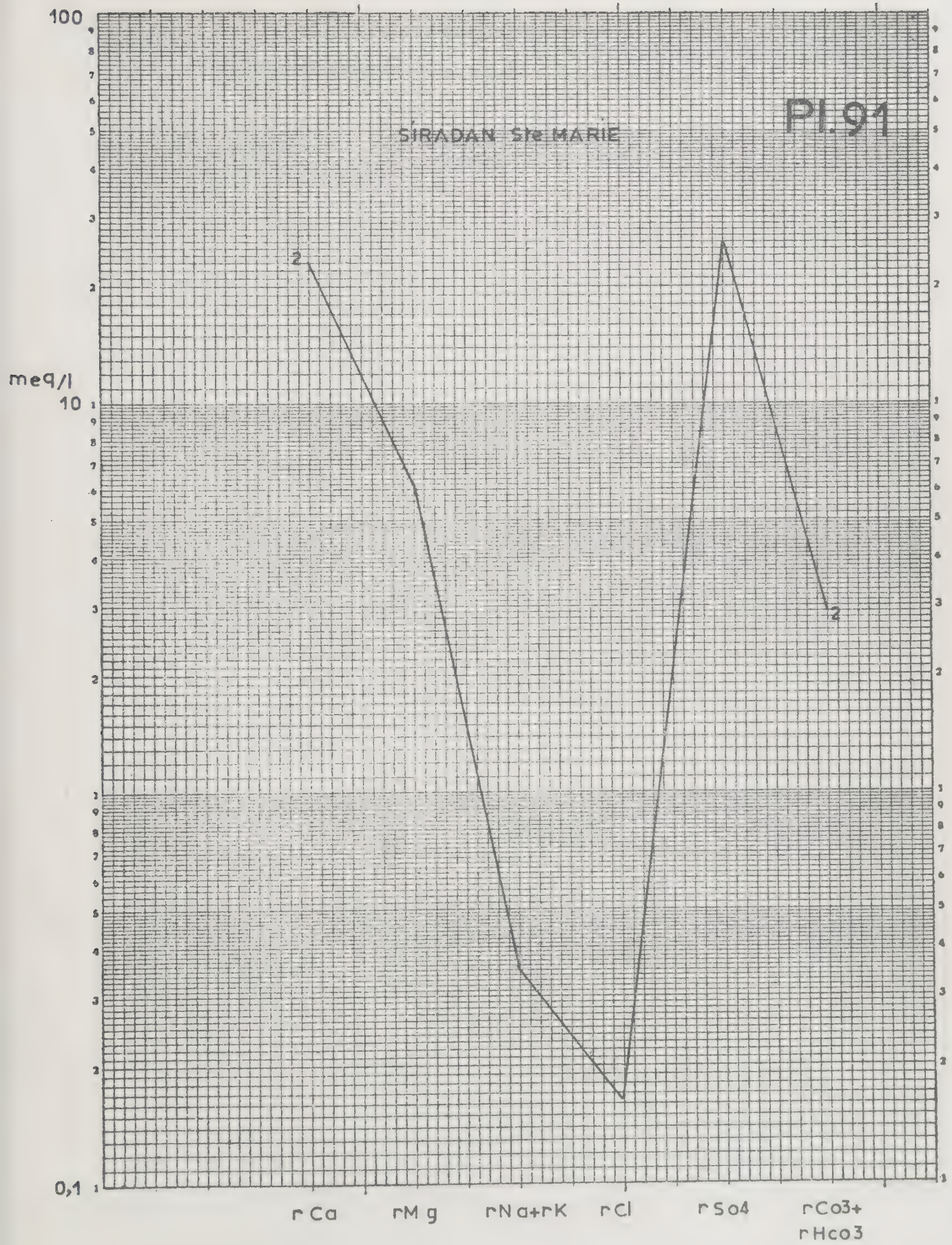

10
meq/l
1
0,1
0,01
BARZUN
P1.86
2
1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rSH+
rS2o3

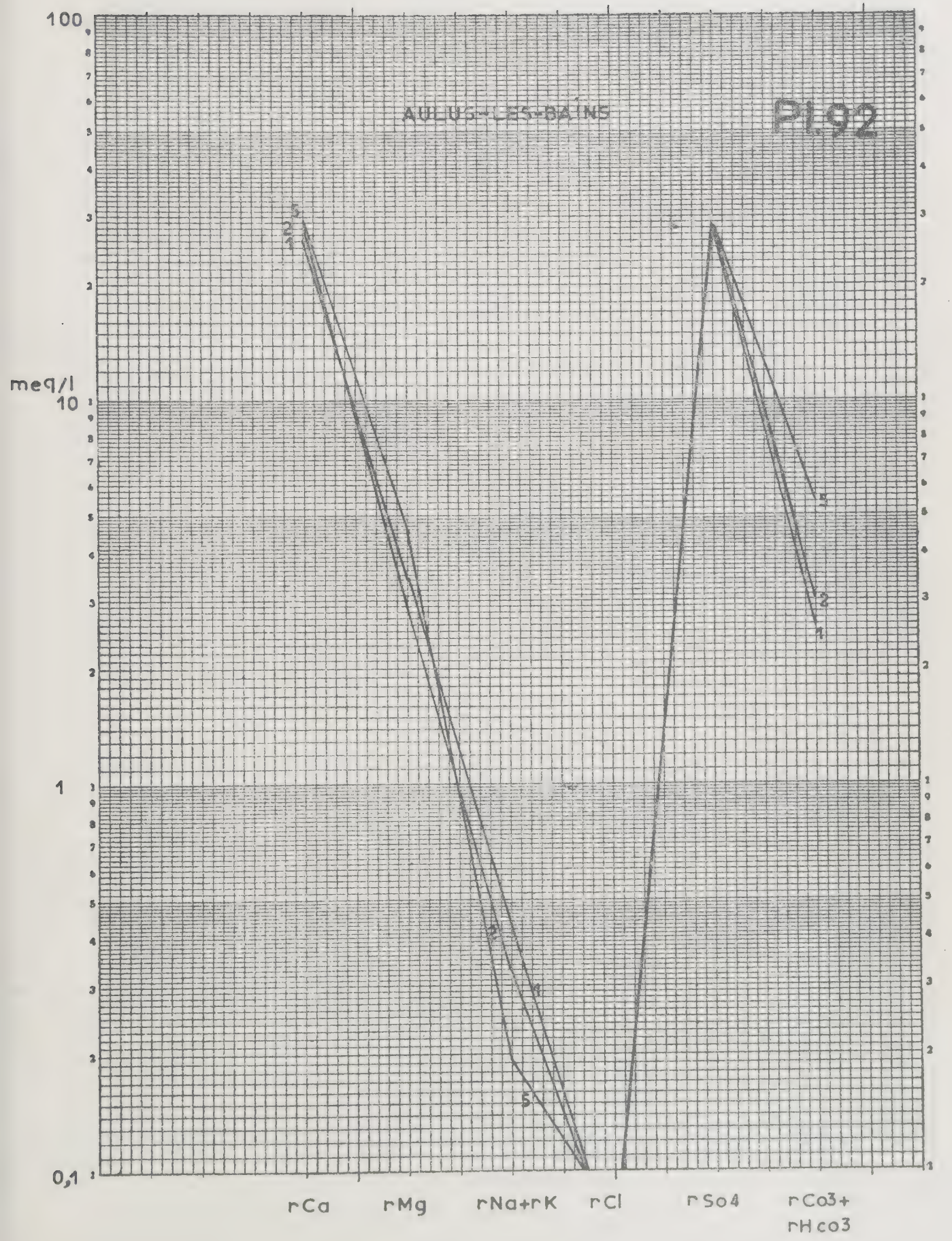

SAINT-SAUVEUR
Pl.87
10
meq/l
1
0,1
0,01
1
2
4
3
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rH co3
rS+
rS2o3

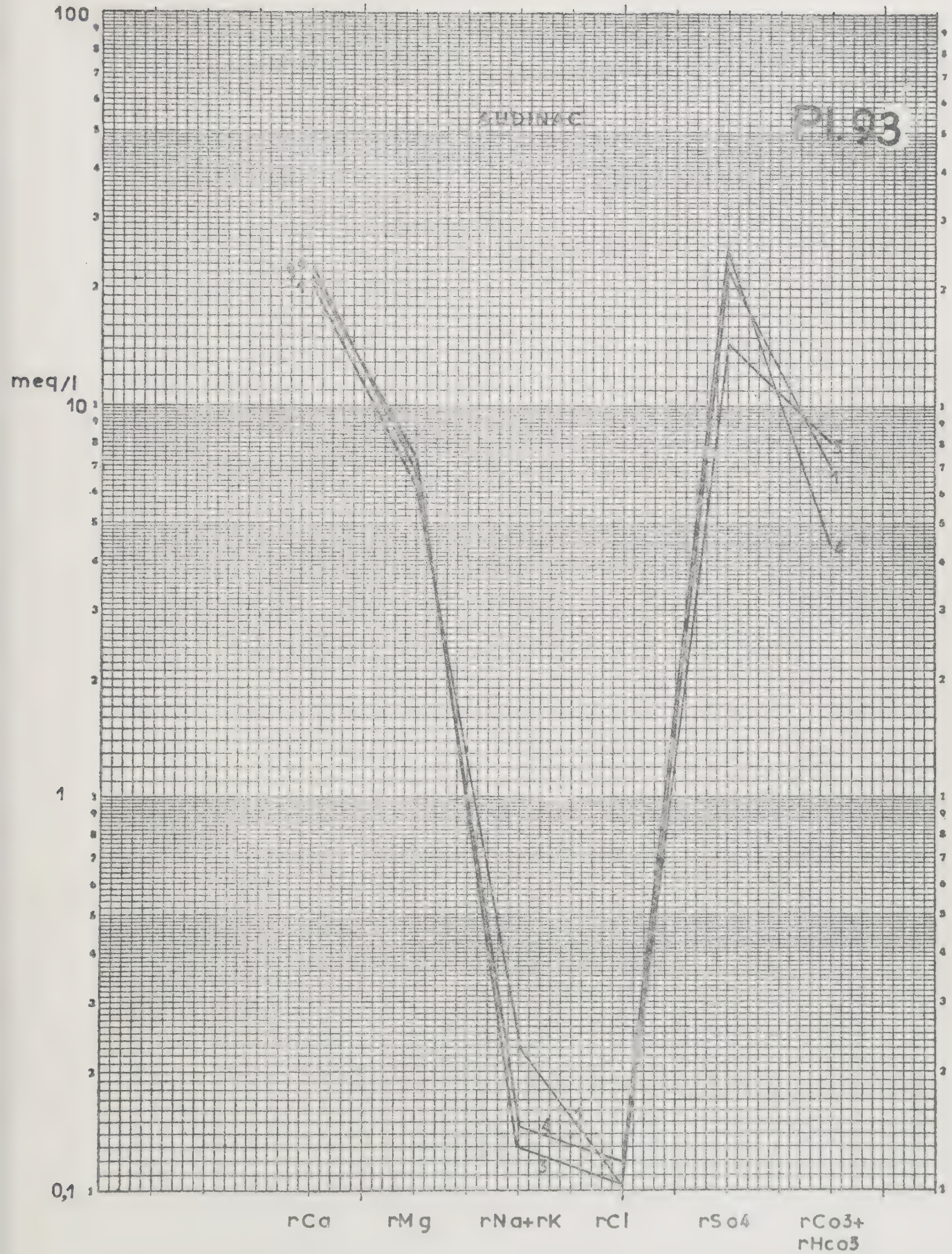

10
meq/l
1
0,1
0,01
PL.8
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

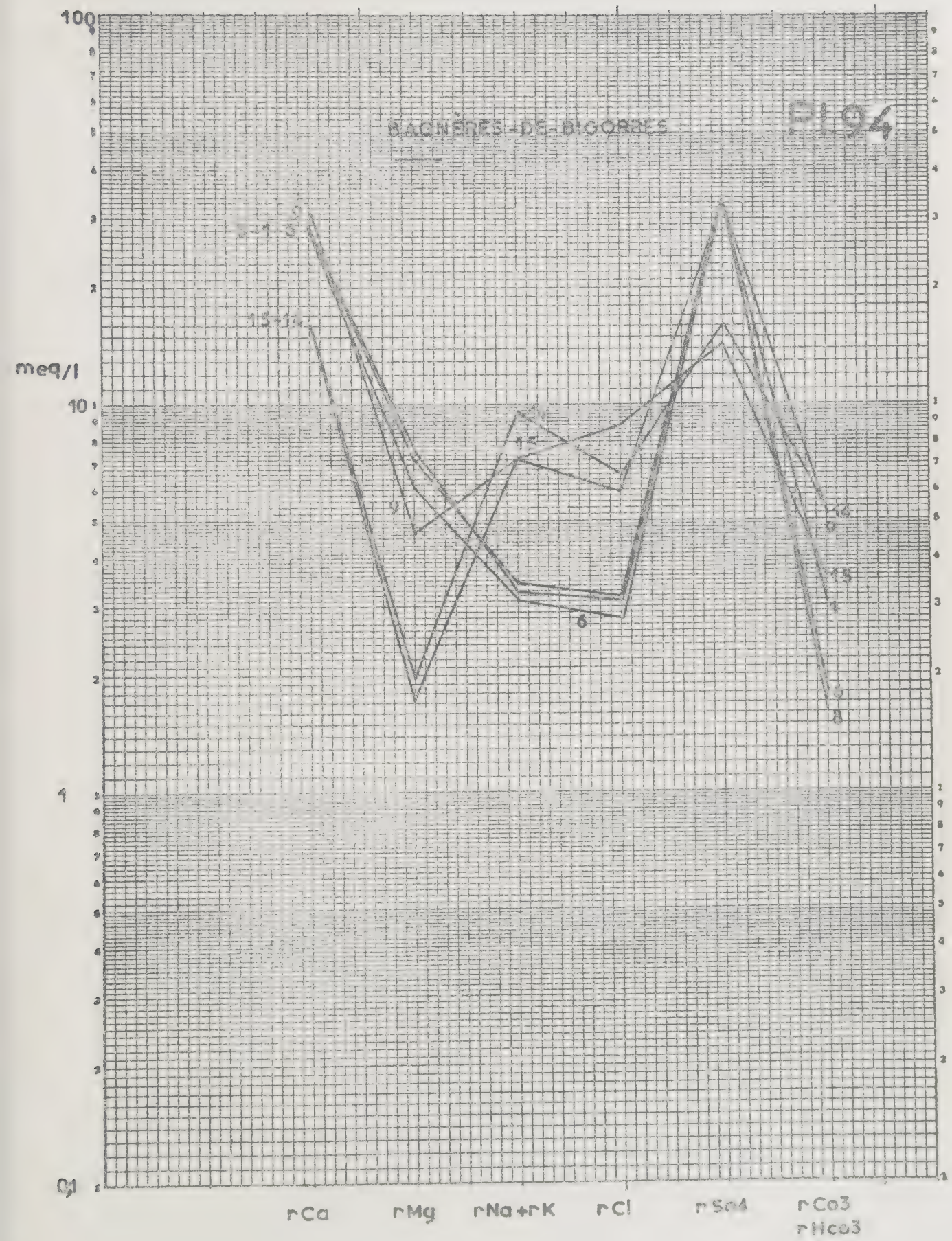

10
meq/l
1
0,1
0,01
GAZOST
Pl.89
2-1
3
1
2
rCa
rMg
rNa+rk
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

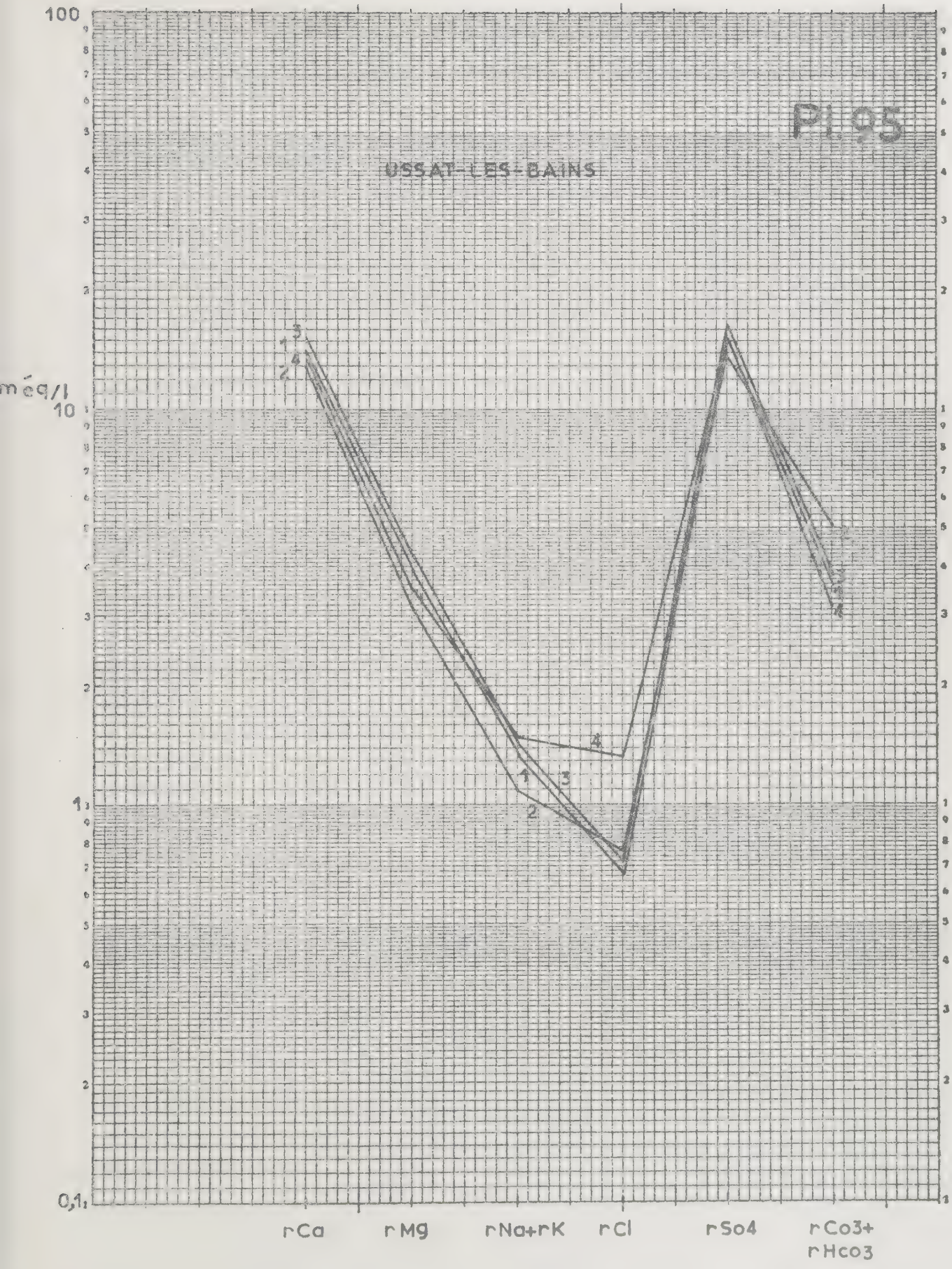

BEAUCENS
Pl.90
meq/l
10
1
0,1
0,01
2
1
1-2
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
rS+
rS2o3

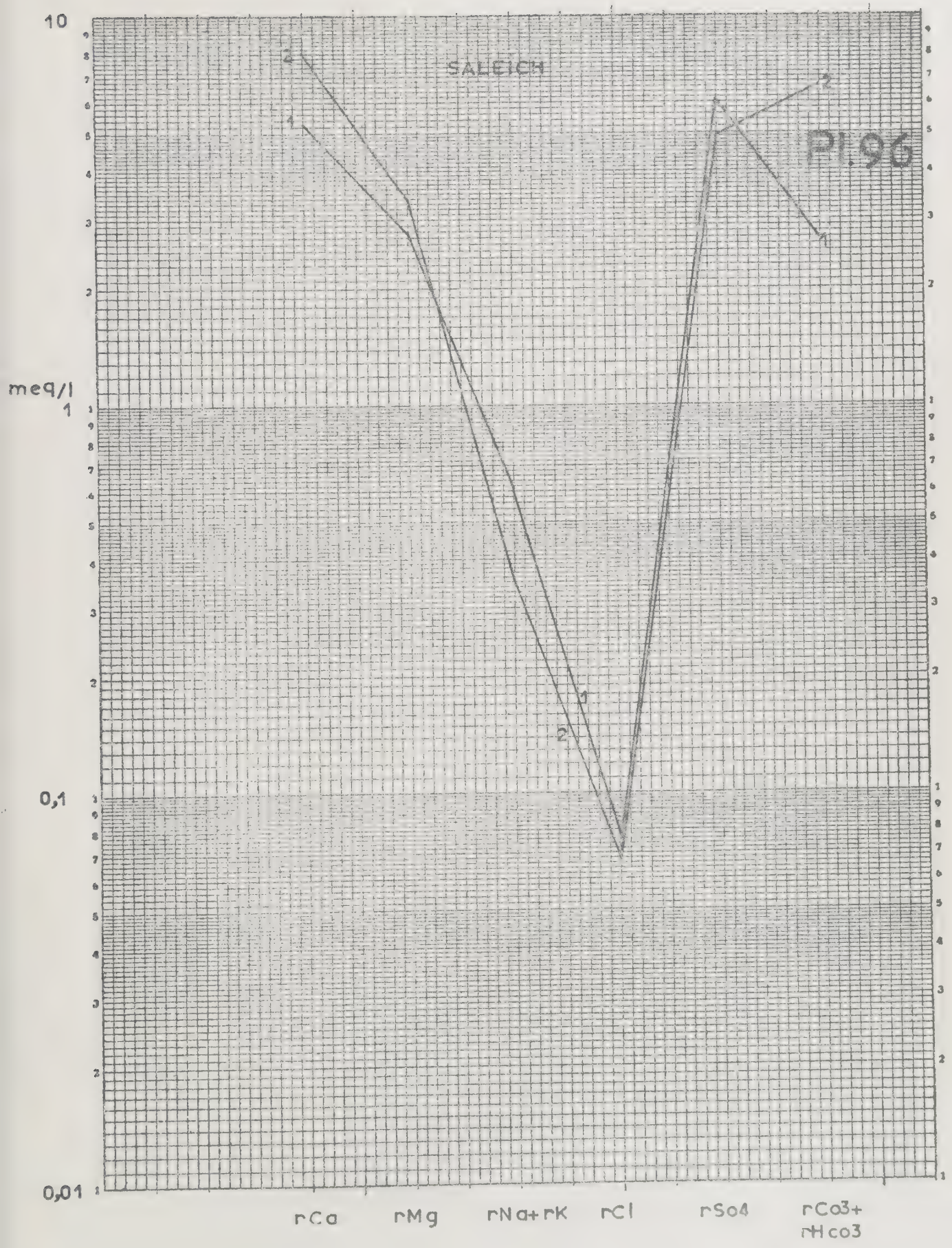

PI.91
SIRADAN Ste MARIE
100
meq/l
10
0,1
2
2
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3

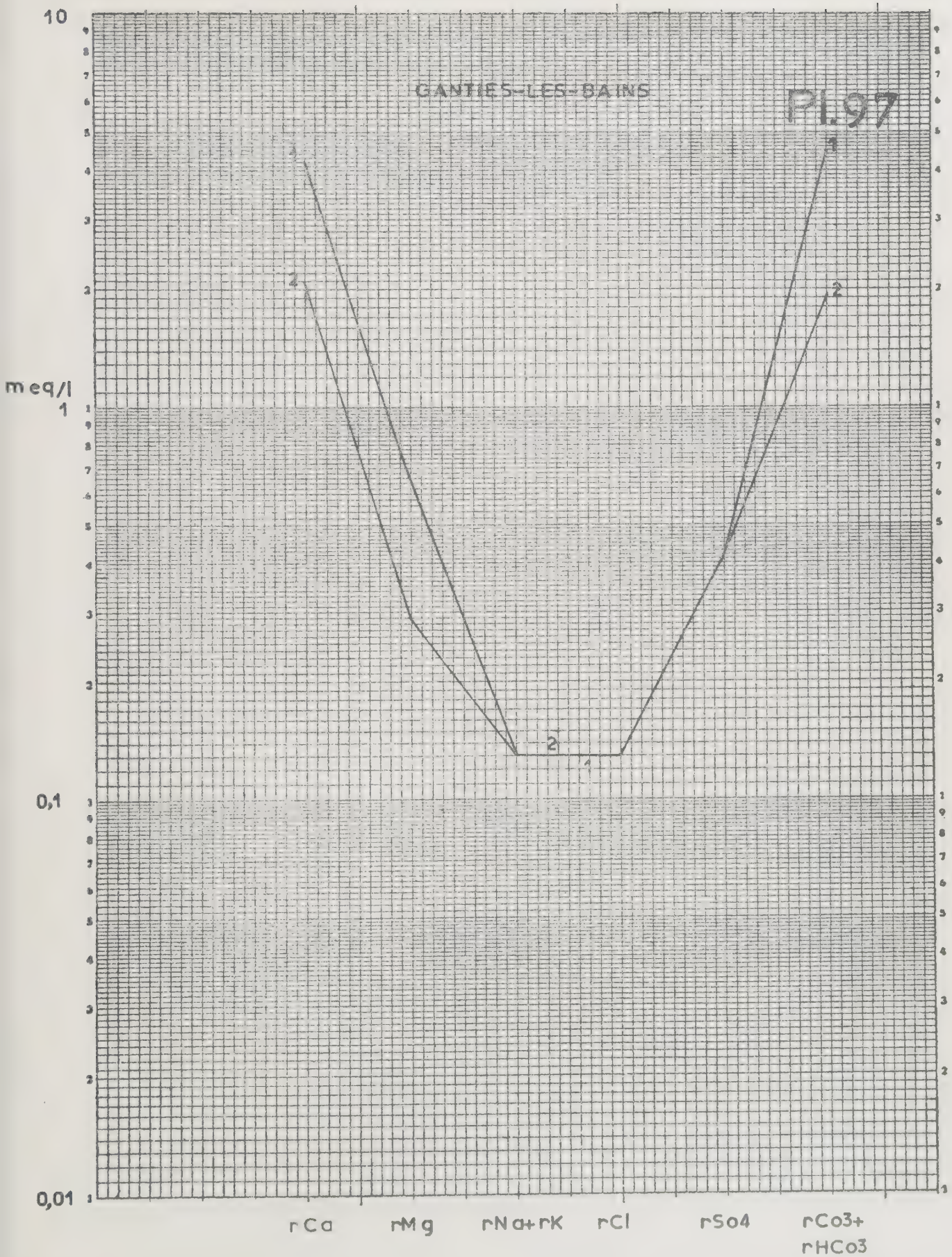

AULUS-LES-BAINS
PL92
100
meq/l
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3

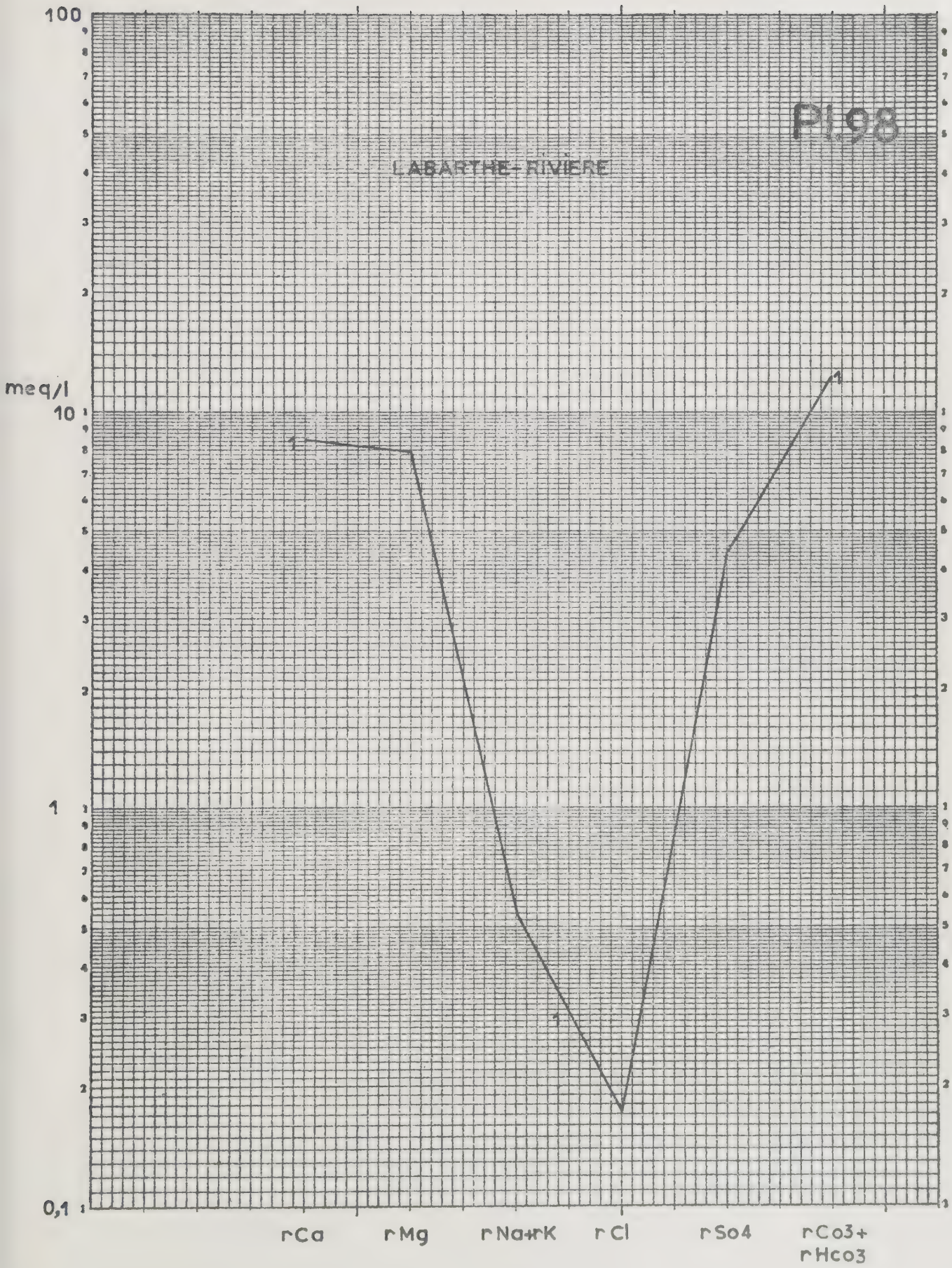

100
meq/l
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3

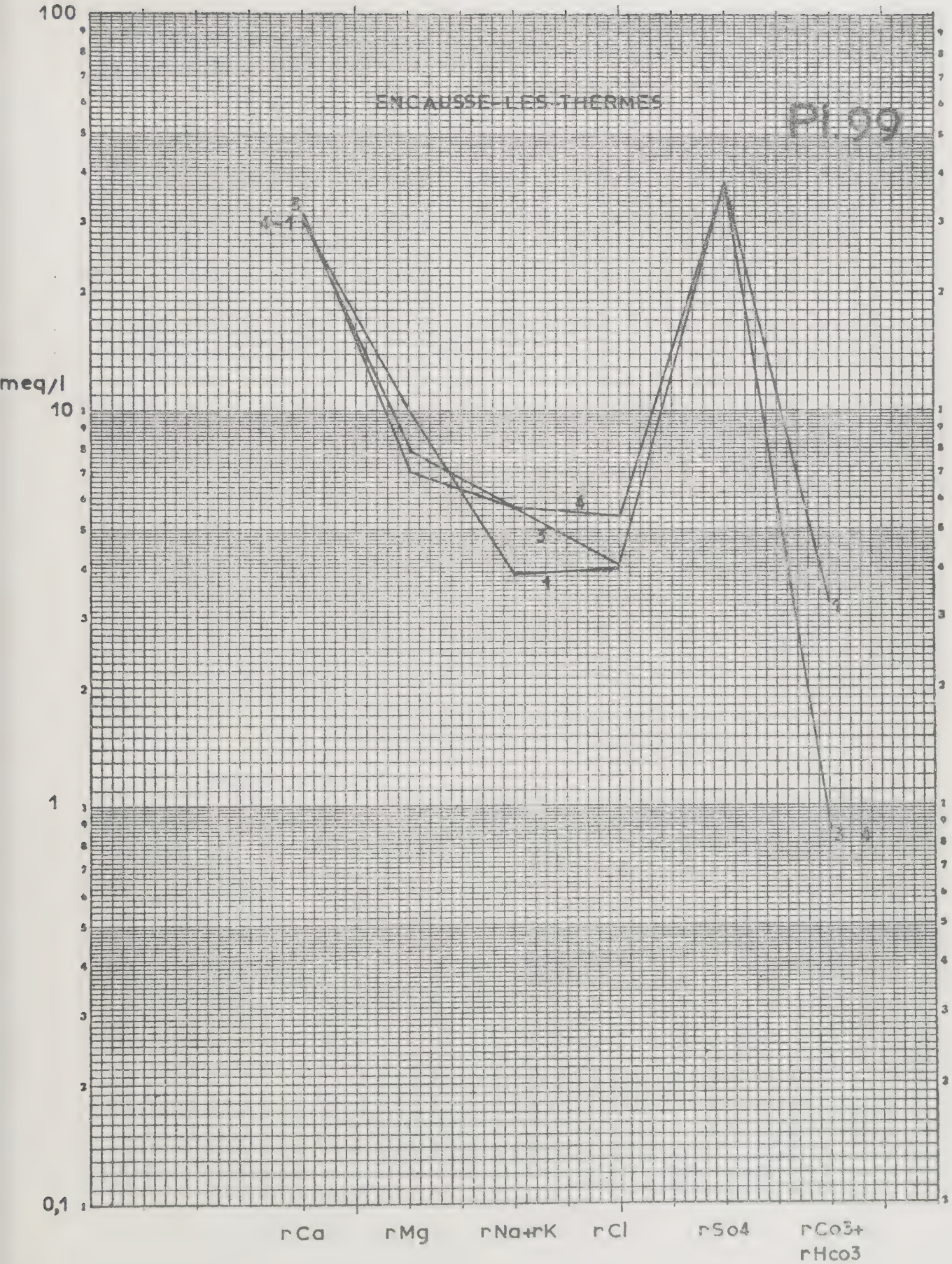

BAGNÈRES-DE-BIGORRE
Pl 94
meq/l
100
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3
rHco3

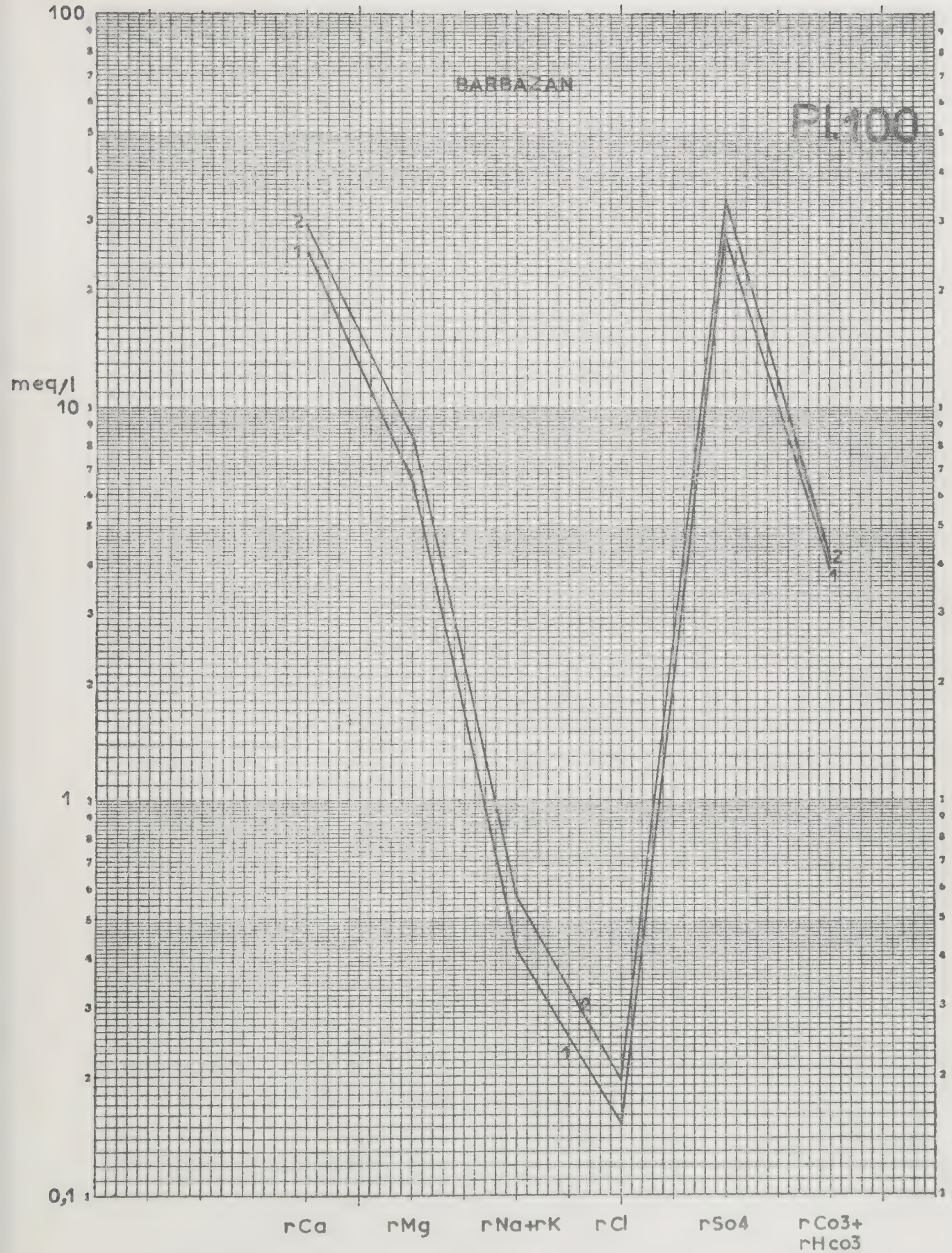

Pl. 95
USSAT-LES-BAINS
méq/l
100
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3

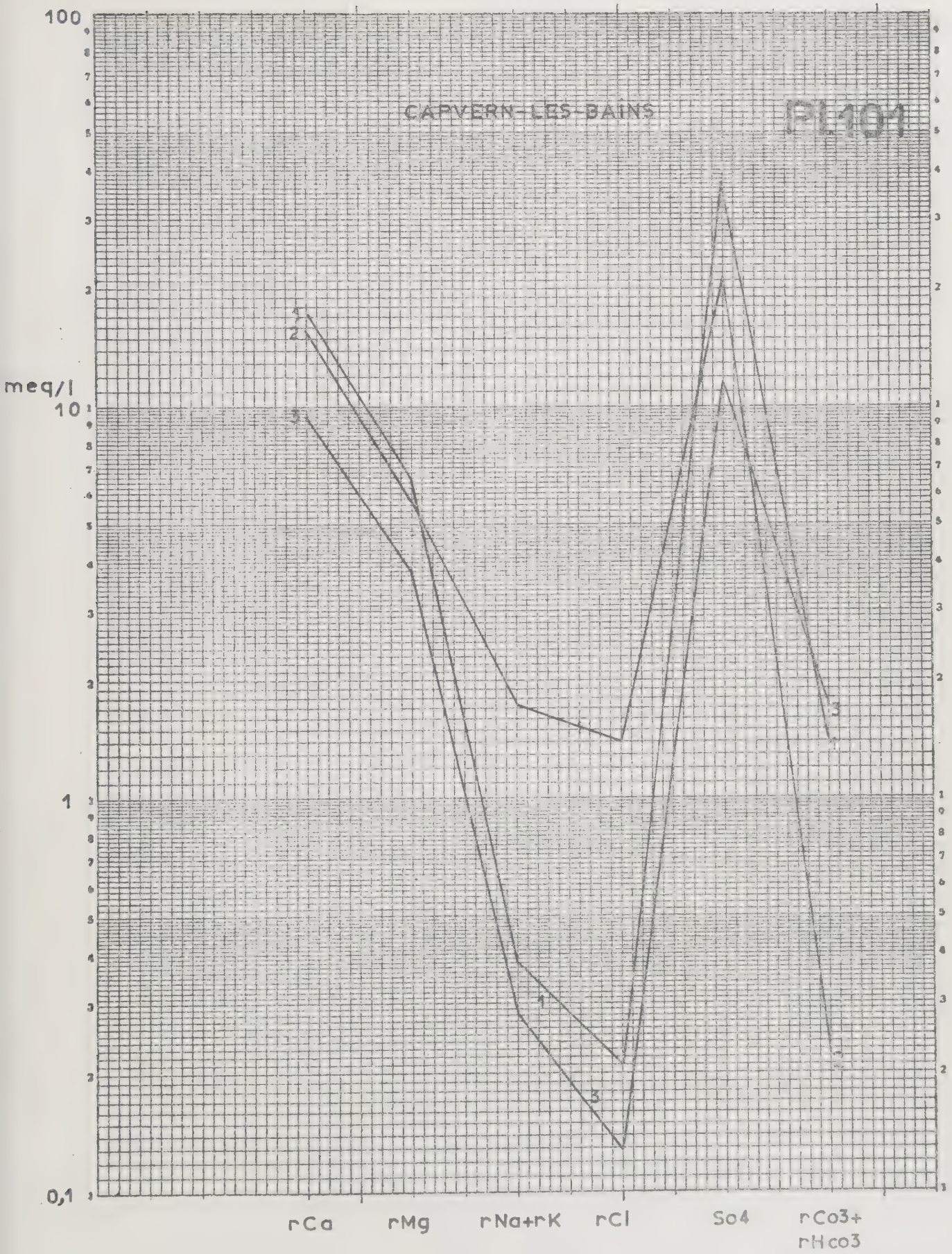

10
meq/l
1
0,1
0,01
SALEICH
P1.96
2
1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3

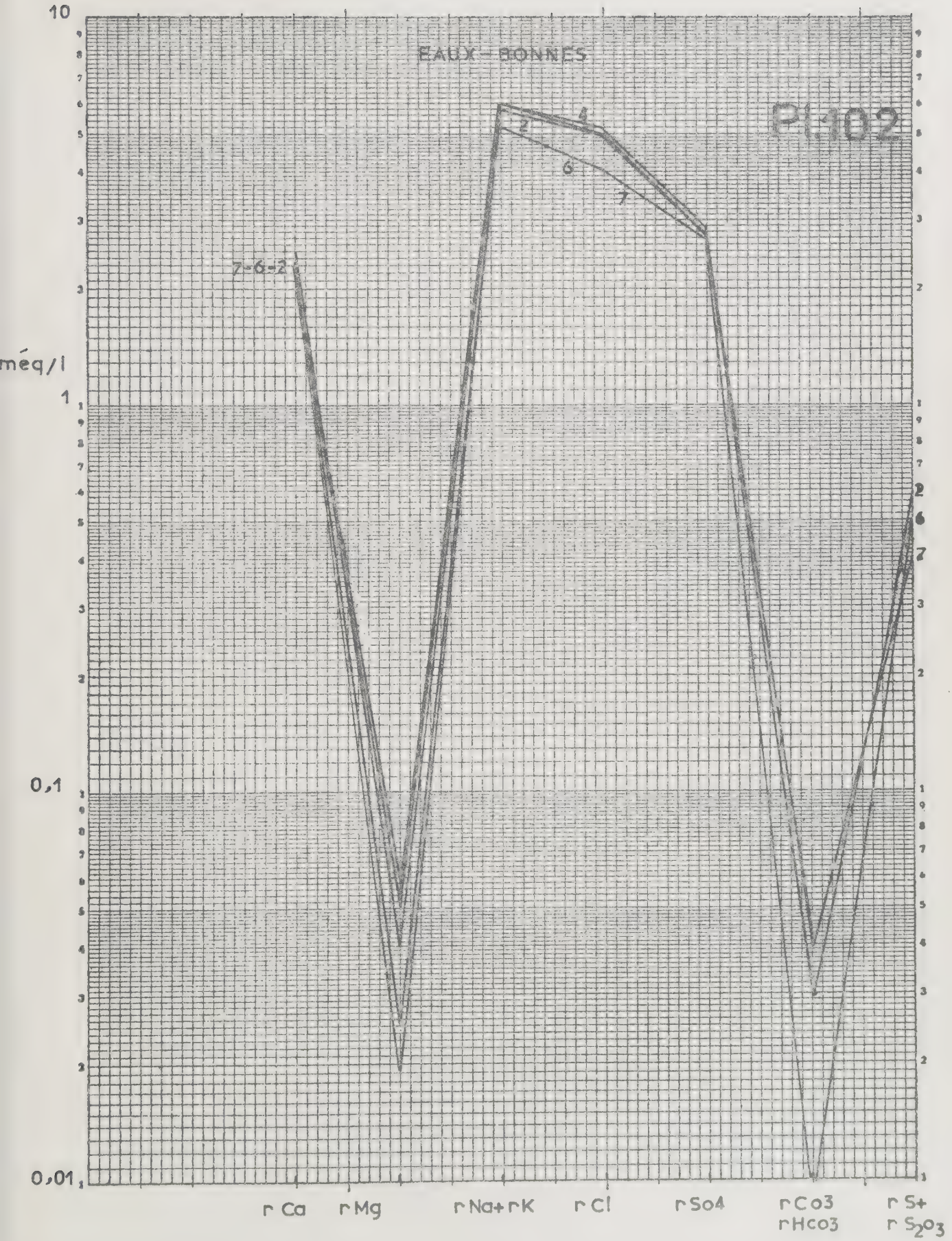

GANTIES-LES-BAINS
Pl.97
10
meq/l
1
0,1
0,01
1
2
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHCo3

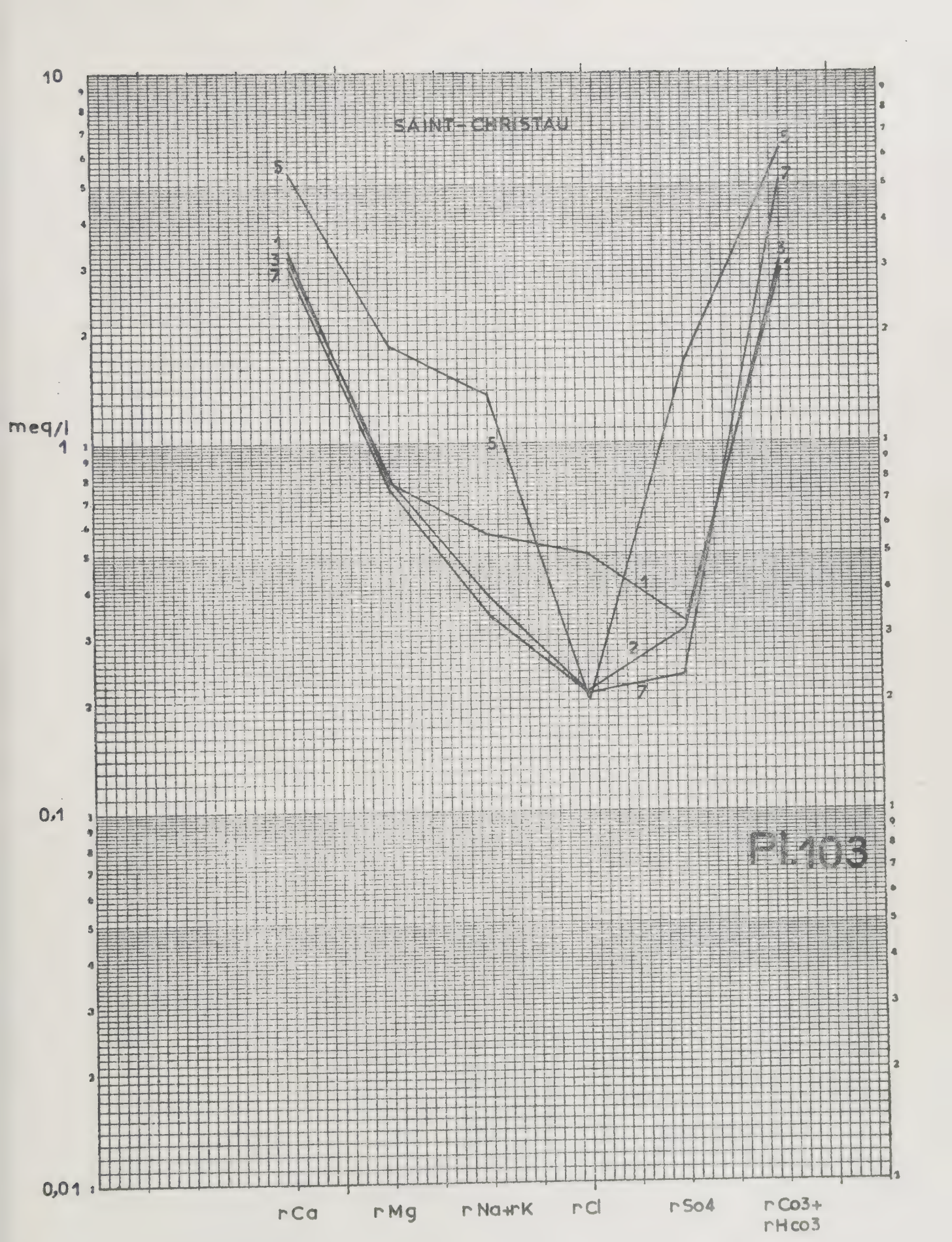

Pl.98
LABARTHE-RIVIÈRE
100
meq/l
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3

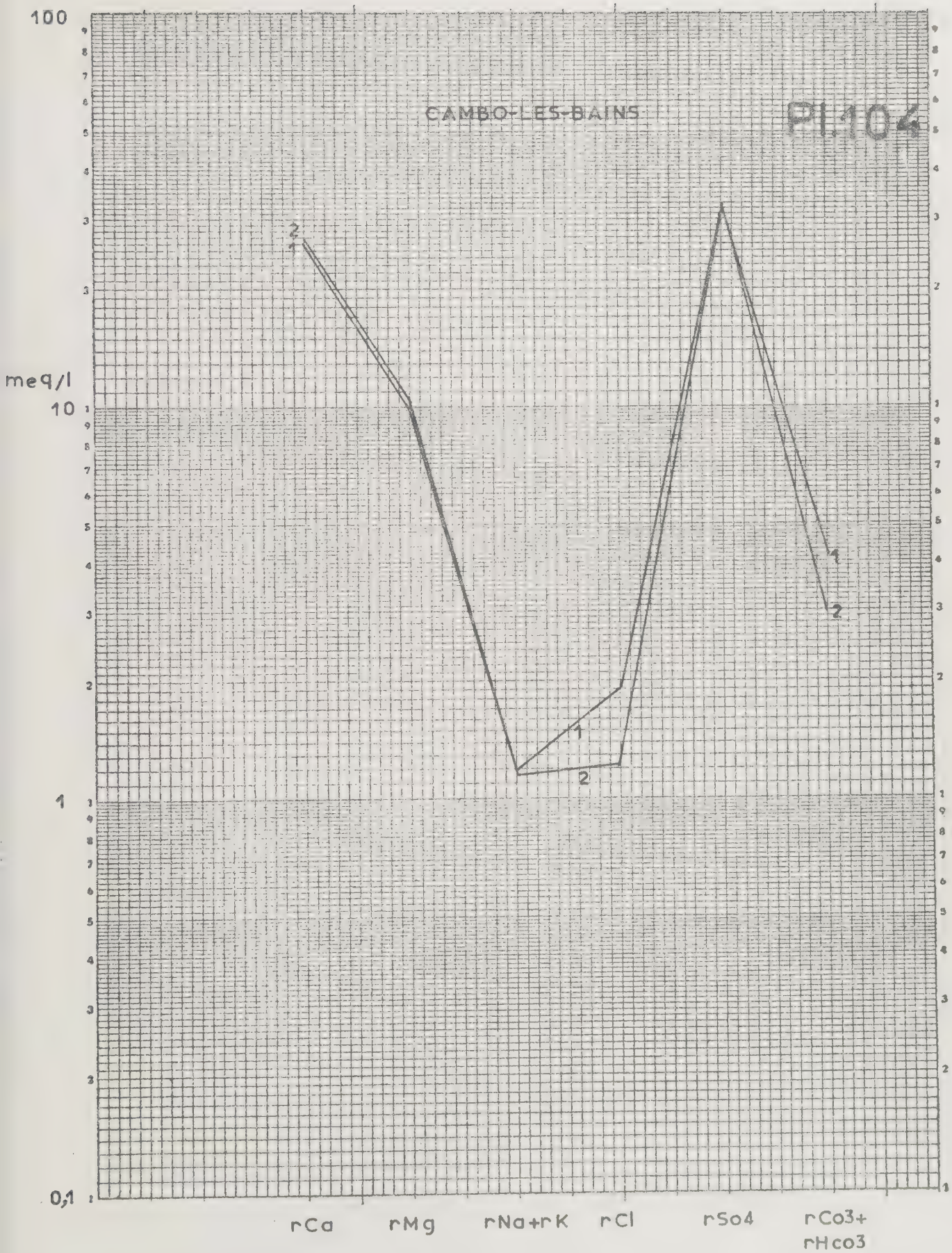

ENCAUSSE-LES-THERMES
Pl.99
100
meq/l
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3


BARBAZAN
PL100
meq/l
100
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3


CAPVERN-LES-BAINS
PL101
meq/l
100
10
1
0,1
1
2
3
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
So4
rCo3+
rHco3


EAUX - BONNES
P1102
7-6-2
4
2
6
7
10
méq/l
1
0,1
0,01
r Ca
r Mg
r Na+rK
r Cl
r So4
r Co3
r Hco3
r S+
r S_2O_3


SAINT-CHRISTAU
10
meq/l
1
0,1
0,01
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3
PL103


CAMBO-LES-BAINS
Pl.104
meq/l
100
10
1
0,1
rCa
rMg
rNa+rK
rCl
rSo4
rCo3+
rHco3

Stations	$\frac{Cl^-}{SO_4^{--}}$	$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$	r SiO_3 maximum	SiO_3 m. mol	I. C. A.	μ
1 – Amélie	0,7	0,11	2,3	$1,15.10^{-3}$	– 1,1	$5,8.10^{-3}$
2 – Audinac	0,005	0,3	0,43	$0,21.10^{-3}$	– 0,005	$5,8.10^{-3}$
3 – Aulus	0,002	0,13	0,5	$0,25.10^{-3}$	– 0,01	59.10^{-3}
4 – Ax	0,6	0,082	3,18	$1,59.10^{-3}$	– 0,7	$2,9.10^{-3}$
5 – B. de Bigorre	0,97	0,25	1,66	$0,83.10^{-3}$	– 0,006	75.10^{-3}
6 – B. de Luchon	2	0,18	3,12	$1,56.10^{-3}$	– 0,7	$6,6.10^{-3}$
7 – Barbazan	0,005	0,27	0,73	$0,36.10^{-3}$	– 0,008	61.10^{-3}
8 – Barèges	1,2	0,13	2,92	$1,46.10^{-3}$	– 1,6	3.10^{-3}
9 – Barzun	1,4	0,1	2,3	$1,15.10^{-3}$	– 1,6	$3,3.10^{-3}$
10 – Beaucens	700	0,33	0,5	$0,25.10^{-3}$	– 0,4	$17,8.10^{-3}$
11 – Boulou	230	0,88	3,5	$1,7.10^{-3}$	– 1	204.10^{-3}
12 – Cadéac	"					
13 – Canbo	0,06	0,3	0,61	$0,3.10^{-3}$	+ 0,3	72.10^{-3}
14 – Carcarolles	0,3	0,08	3,04	$1,52.10^{-3}$	– 1,4	$3,69.10^{-3}$
15 – Cazaux	0,001	0,36	0,5	$0,25.10^{-3}$	– 0,004	62.10^{-3}
16 – Carcanières	0,5	0,1	3,13	$1,56.10^{-3}$	– 0,75	$5,76.10^{-3}$
17 – Cauterets	3	0,061	2,31	$1,15.10^{-3}$	– 0,45	$3,17.10^{-3}$
18 – Eaux-Bonnes	1,8	0,018	2,2	$1,1.10^{-3}$	– 0,3	$10,4.10^{-3}$
19 – Eaux Chaudes	0,7	0,02	4,4	$2,2.10^{-3}$	– 0,7	$5,66.10^{-3}$
20 – Encausse	0,1	0,33	0,91	$0,45.10^{-3}$	+ 0,035	$84,6.10^{-3}$
21 – Escaldes	0,8	0,15	2,23	$1,11.10^{-3}$	– 0,86	$2,73.10^{-3}$
22 – Escouloubre	0,5	0,12	2,87	$1,43.10^{-3}$	– 0,36	$3,58.10^{-3}$
23 – Ganties	0,3	0,12	1	$0,5.10^{-3}$	0	$8,7.10^{-3}$

Station	$\frac{Cl^-}{SO_4^{--}}$	$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$	r SiO_3 m. mol maximum	SiO_3 m. mol	I. C. A.	μ
24 - Gazost	13	0,025	1,41	$0,7.10^{-3}$	- 0,1	$6,07.10^{-3}$
25 - Labarthe-Riv.	0,04	0,94	0,45	$0,23.10^{-3}$	- 0,21	30.10^{-3}
26 - Labassère	13	0,11	1,3	$0,6.10^{-3}$	- 0,73	$7,3.10^{-3}$
27 - Larcque	0,8	0,5	2,2	$1,1.10^{-3}$	- 0,2	$9,5.10^{-3}$
28-Loudenvielle	0,9	0,09	0,75	$0,37.10^{-3}$	- 0,8	$3,5.10^{-3}$
29 - Mérens	1,01	0,08	2,9	$1,4.10^{-3}$	- 0,95	3.10^{-3}
30 - Molitg	0,5	0,11	1,9	$0,95.10^{-3}$	- 1	$4,3.10^{-3}$
31 - Nossa	0,4	0,008	2,11	$1,05.10^{-3}$	- 0,97	$4,1.10^{-3}$
32 - La Preste	1,2	0,14	1,4	$0,7.10^{-3}$	- 0,65	$3,15.10^{-3}$
33 - St Christau	0,6	0,22	0,86	$0,43.10^{-3}$	- 0,05	7.10^{-3}
34 - Ste Marie	0,006		0,5	$0,25.10^{-3}$		
35 - St Sauveur	2,4	0,11	2,15	$1,7.10^{-3}$	- 1,5	$3,64.10^{-3}$
36 - St Thomas	0,5	0,02			- 1,1	$3,5.10^{-3}$
37 - Salles	0,02	0,26	0,4	$0,2.10^{-3}$	- 0,015	8.10^{-3}
38 - Saleich	0,01	0,44	1	$0,5.10^{-3}$	- 0,02	23.10^{-3}
39 - Siradan		0,26			- 0,006	58.10^{-3}
40 - Sorède	1	0,11	3,3	$1,65.10^{-3}$	- 0,16	30.10^{-3}
41 - Thués	0,7	0,08	3	$1,5.10^{-3}$	- 1,1	$3,4.10^{-3}$
42 - Tramgaygues	0,6	1,5			- 0,53	$5,05.10^{-3}$
43 - Ussat	0,04	0,27	1,6	$0,8.10^{-3}$	- 0,03	40.10^{-3}
44 - Usson	0,4	0,15	2,69	$1,34.10^{-3}$	- 0,8	4.10^{-3}
45 - Vernet	0,4	0,02	2	1.10^{-3}	- 1	$4,9.10^{-3}$

Stations	cations %			Anions %			Q m^3/s
	Ca^{++}	Mg^{++}	$Na^+ + K^+$	Cl^-	$SO_4^{--} + S^{--}$	$HCO_3^- + CO_3^{--}$	
1 - Amélie	4,2	0,4	95	17	37	46	25.10^{-3}
2 - Audinac	76	23	0,9	0,4	85	14,5	$4,6.10^{-3}$
3 - Aulus	88	11	1	0,5	91	8	$6,9.10^{-3}$
4 - Ax	8	0,7	91	12	41	47	14.10^{-3}
5 - B. de Bigorre	73	18	9	8	83	8	$34,7.10^{-3}$
6 - B. de Luchon	8	1	91	27	39	34	$5,7.10^{-3}$
7 - Barbazan	78	20	1,5	0,5	86	12,5	$0,9.10^{-3}$
8 - Barèges	5	0,6	94	26,5	45	27,5	$1,9.10^{-3}$
9 - Barzun	5	0,3	95	26	40	35	$1,15.10^{-3}$
10 - Beaucens	10	2	88	81	1	18	$0,45.10^{-3}$
11 - Boulou	11	9	80	22,4	0,8	77	$0,41.10^{-3}$
12 - Cadéac							$0,3.10^{-3}$
13 - Cambo	72	26	3	5	84	11	$6,5.10^{-3}$
14 - Canaveilles	3,7	0,4	96	9	50	41	$0,59.10^{-3}$
15 - Capvern	73	25	1,7	0,5	96	3,3	45.10^{-3}
16 - [illegible]	0,5	4	95	6	22	72	$1,5.10^{-3}$
17 - Cauterets	8	0,5	91	56	44	-	23.10^{-3}
18 - Eaux-Bonnes	28	0,5	71,5	63	36	0,4	$0,87.10^{-3}$
19 - Eaux-Chaudes	22	0,5	77	40	59	0,9	$1,5.10^{-3}$
20 - Encausse	69	23	8	8,8	84	7,2	$0,35.10^{-3}$
21 - Escaldes	8,5	0,13	91	10	47	44	5.10^{-3}
22 - [illegible]	4,5	0,6	95	6	24	69	$0,98.10^{-3}$
23 - [illegible]	85	13	2	2	9	89	$6,6.10^{-3}$

Stations	Cations %			Anions %			Q m^3/s
	Ca^{++}	Mg^{++}	$Na^+ + K^+$	Cl^-	$SO_4^{--}+S^{--}$	$HCO_3^-+CO_3^{--}$	
24 - Gazost	31	0,7	69	58	22	19	3.10^{-3}
25 - Labarthe-Riv.	50	47	3	1	26	73	$0,34.10^{-3}$
26 - Labassère	3	0,37	97	61	21	18	$0,3.10^{-3}$
27 - Laroque	55	27	18	6,6	8,3	85	$0,2.10^{-3}$
28 - Londenvielle	22	2	76	24	50	26	$0,2.10^{-3}$
29 - Mérens	15	1,5	83	15	30	55	$0,3.10^{-3}$
30 - Molitg	7	0,7	92	10	32	58	$1,32.10^{-3}$
31 - Nossa	2,8	0,2	97	12	36	51	$0,28.10^{-3}$
32 - La Preste	6,5	0,9	92	22	30	48	20.10^{-3}
33 - St Christau	73	18	8,8	6	8,7	85	$20,2.10^{-3}$
34 - Ste Marie							$1,6.10^{-3}$
35 - St Sauveur	7	0,8	92	44	37	19	$0,57.10^{-3}$
36 - St Thomas	11	0,3	89	12	47	41	20.10^{-3}
37 - Salles	76	20	4	2	98	-	$0,1.10^{-3}$
38 - Saleich	68	29	3	0,6	42	57	$0,5.10^{-3}$
39 - Siradan	78	20	1,5	0,5	89,5	10	
40 - Sorède	80	9	11	2	2	96	$0,1.10^{-3}$
41 - Thues	3,6	0,4	96	13	43,5	43	$25,4.10^{-3}$
42 - Tranzaygues	17	25	57	17	43	40	$0,75.10^{-3}$
43 - Ussat	73	20	7	3,4	79	18	$16,5.10^{-3}$
44 - Usson	13	0,2	86	7	34	59	$0,49.10^{-3}$
45 - Vernet	5,5	1,5	93	8,7	41	51	$4,23.10^{-3}$

Stations	Alt. m.	θ m air	θs	$\theta s - \theta_m$	Q l/s	$(\theta_s - \theta_m)$ Q
1 - Amélie	230	14,4	62	47,6	25	1 090
2 - Audinac	500	12	20	8	4,6	36,8
3 - Aulus	776	11	18	7	6,9	48,3
4 - Ax	720	12	78	66	14	924
5 - B. de Bigorre	556	11	50	44	34	1 496
6 - B. de Luchon	635	11	64	53	5,7	302
7 - Barbazan	450	13	21	8	0,9	7,2
8 - Barèges	1 235	9	43	34	1,9	64,6
9 - Barzun	1 230	9	29	20	1,15	23
10 - Beaucens	470	13	18	5	0,45	2,25
11 - Boulou	84	14,4	17,5	3,1	0,41	1,27
12 - Cadéac	710	12	18	6	0,3	1,8
13 - Cambo	60	16	21	5	6,5	32,5
14 - Canaveilles	750	12	64	52	0,39	20,2
15 - Capvern	475	10,4	24	13,6	43	584,8
16 - Carcanières	910	11	54	43	1,5	64,5
17 - Cauterets	932	11	49,6	38,6	23	887
18 - Eaux-Bonnes	750	12	32,5	20,5	0,87	17,8
19 - Eaux-Cahudes	675	12	36,2	24,2	1,5	36,3
20 - Encausse	360	13	29	16	0,36	3,76
21 - Escaldes	1 350	9	42,3	33,3	5	166,5
22 - Escouloubre	910	11	49	38	0,98	37,2
23 - Ganties	400	13	21	8	6,6	52,8

Stations	Alt. m.	$\theta_{m\ air}$	θs	$\theta s - \theta_m$	Q l/s	$(\theta s - \theta_m)$ Q
24 - Gazost	800	11	15,5	4,5	3	13,5
25 - Labarthe-Riv.	400	12	21	9	0,34	3,06
26 - Labassère	682	11	12,5	1,5	0,3	0,45
27 - Laroque	80	16	15,6	0,4	0,2	0,08
28 - Loudenvielle	700	11	26,4	15,4	0,2	3,08
29 - Mérens	1 055	10	35	25	0,3	7,5
30 - Molitg	450	12	38	26	1,32	34,3
31 - Nossa	200	13	24	11	0,28	3,08
32 - La Preste	1 130	10	44	34	20	680
33 - St Christau	320	13	14	1	20,2	20,2
34 - Ste Marie	450	12	17	5	1,6	8
35 - St Sauveur	730	11	35	24	0,57	13,68
36 - St Thomas	1 000	10	60	50	20	1 000
37 - Salles	630	12	16	4	0,1	0,4
38 - Saleich	400	12	14	2	0,5	1
39 - Siradan						
40 - Sorède	80	16	21	5	0,1	0,5
41 - Thues	750	12	80	68	25,4	1 724
42 - Tramzaygues	970	10	20	10	0,2	2
43 - Ussat	485	12	38	26	16,2	421
44 - Usson	776	11,3	26	14,7	0,49	7,2
45 - Vernet	650	11,8	66	54,2	4,29	232,5

REFERENCE DES ANALYSES

1 - Société Française d'Hydrologie et de climatologie médicales

2 - Jacquot et Willm.

3 - Annales de la Fédération Pyrénéenne.

4 - Durand-Fardel.

5 - Anglada.

6 - L. de Launay.

7 - Filhol.

8 - Annales des Mines.

9 - Annales de l'Institut d'Hydrologie et climatologie.

10 - M. Bouis.

11 - P. Cazaux.

12 - Fourment.

13 - R. Soyer (Ann. de l'Institut hydrologie et climatologie).

14 - Dr. Dubarry.

15 - Syndicat initiative de Barbazan.

16 - Dr Roger Pouy.

"CODE D'ABREVIATION DES STATIONS"

1 - Amélie les Bains	Am	24 - Gazost	Gz
2 - Audinac	Ad	25 - Labarthe-Rivière	L.R.
3 - Aulus-les-Bains	Al	26 - Labassère	Lb
4 - Ax-les-Thermes	Ax	27 - Laroque	Lq
5 - Bagnères-de-Bigorre	B.B.	28 - Loudenvielle	Ln
6 - Bagnères-de-Luchon	B.L.	29 - Mérens	Mn
7 - Barbazan	Bb	30 - Molitg	Mo
8 - Barèges	Bg	31 - Nossa	N.
9 - Barzun	Bz	32 - La Preste	L.P.
10 - Beaucens	Be	33 - Saint-Christau	S.C.
11 - Boulou	Bo	34 - Sainte-Marie	S.M.
12 - Cadéac	Cd	35 - Saint-Sauveur	S.S.
13 - Cambo-les-Bains	Cb	36 - Saint-Thomas	S.T.
14 - Cahaveilles-les-Bains	Cn	37 - Saleich	Sh
15 - Capvern	Cp	38 - Salles	Sl
16 - Carcanières	Cr	39 - Siradan	Si
17 - Cauterets	Ct	40 - Scrède	So
18 - Eaux-Bonnes	E.B.	41 - Thues-les-Bains	Th
19 - Eaux-Chaudes	E.C.	42 - Tramzaygues	Tr
20 - Encausse	En	43 - Ussat-les-Bains	Ut
21 - Escaldes	Ed	44 - Usson-les-Bains	Un
22 - Escouloubre	Eb	45 - Vernet-les-Bains	V
23 - Ganties-les-Bains	Gn		

ABREVIATIONS

PHYSICO-CHIMIQUES :

r = méq/l	milléquivalent par litre
m.mol	m illi-mol
R.	résistivité ohms.cm ou ohms. cm^2/cm
Q m^3/s	débit en m^3 par seconde
Q l/m	débit en litre par minute
Q l/s	débit en litre par seconde
R.S.	Résidu sec
M.O.	matières organiques
m μci/l ou 10^{-9} ci/l	millimicrocuries par litre
p ci/l ou 10^{-12} ci/l	picocuries
I.C.A.	indice déséquilibre chloro-alcalin
S.	produit de la solubilité du sulfate
S_o	point de la saturation de sulfate
θ	température °C
θs	température °C des sources
θ m	température °C moyenne ambiante
Φ	flux
k cal/s	kilo-calorie par seconde

CAPTAGE

P.	puits
B.	bassin
F.	forage
G.	galerie

PLANCHE

○	source des terrains primaires
●	source des terrains secondaires

*

TABLE DES PLANCHES

1 - Situation géographique des Pyrénées
2 - Les régimes hydrologiques des Pyrénées
3 - Carte géologique des Pyrénées au 1/50 000
4 - Carte géologique de Molitg et Nossa
5 - Carte géologique des massifs de l'Aston et Querigut
6 - Carte géologique d'Ax-les-Thermes
7 - Sources thermales d'Ax-les-Thermes
8 - Coupe géologique d'Ax
9 - Ax- Groupe du Teich
10 - Ax - Groupe du Couloubret
11 - Ax - Groupes : Modèle, Breilh
12 - Ax - Coupe géologique
13 - Ax - Sondage
14 - Bagnères-de-Luchon - Coupe géologique
15 - Bagnères-de-Lucon - Histogramme des t.°C
16 - Bagnères-de-Luchon - Variation de la température du Groupe Bordeu
17 - Bagnères-de-Luchon- Variation de la température du Groupe Bosquet
18 - Bagnères-de-Luchon - Variation de la température des Galeries du Nord
19 - Bagnères-de-Luchon - Variation de la température des Galeries du Nord
20 - Bagnères-de-Luchon - Variation de la radioactivité et la sulfuration en fonction de t °C
21 - Bagnères-de-Luchon - plan de galerie de captage
22 - Cauterets - Sources du groupe du Sud
23 - Sources autour des massifs de Cauterets et Néouvielles
24 - Carte géologique des Eaux-Bonnes et des Eaux-chaudes
25 - Coupe géologique des Eaux-chaudes
26 - Source autour du massif du Canigou
27 - Carte géologique de Bagnères-de-Luchon et Loudenvielle
28 - Coupe géologique de Bagnères-de-Bigorre
29 - Captage des sources thermales d'Ussat-les-Bains
30 - Carte géologique de Labarthe-Rivière, Barbazan, Encausse

31 - Carte géologique de Saint-Chritau

32 - Graphique semi-log des eaux issues de granite et schiste

33 - Graphique semi-log des eaux issues de terrain secondaire

34 - Diagramme triangulaire des eaux issues de granite et schiste (anions)

35 - Diagramme triangulaire des eaux issues de granite et schiste (anions)

36 - Diagramme triangulaire des eaux issues de terrain secondaire (anions)

37 - Diagramme triangulaire des eaux issues de granite et schiste (cations)

38 - Diagramme triangulaire des eaux issues de terrain secondaire (cations)

39 - Rapport r Mg/r Ca

40 - Valeur de r $(HCO_3 + CO_3)$

41 - Valeur de r Cl

42 - Valeur de r $(SO_4 + S + S_2O_3)$

43 - Valeur de r $(S + S_2O_3)$

44 - Valeur de r SO_4

45 - Rapport de r $(S + S_2O_3)$/ r SO_4

46 - Valeur de r Na

47 - Valeur de r Ca

48 - J.C.A.

49 - Répartition de r SiO_3 en fonction de la température

50 - Répartition géographique de r SiO_3

51 - Répartition de débit

52 - Répartition d'activité bicarbonatée (terrains primaires)

53 - Répartition d'activité bicarbonatée (terrains secondaires)

54 - Répartition d'activité sulfurée

55 - La température et l'altitude

56 - Répartition de l'activité thermique (terrains primaires)

57 - Répartition de l'activité thermique (terrains secondaires)

58 - Répartition des types hydrochimiques

59 - Carte géologique 1/1 000 000 des Pyrénées

60 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Molitg-les-Bains

61 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Bains de Nossa

62 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de La Preste

63 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Escouloubre

64 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Carcanière
65 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Ax-les-Thermes
66 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Ax-les-Thermes
67 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Les Escaldes et Dorres
68 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Bagnères-de-Luchon
69 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Bagnères-de-Luchon
70 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Cauterets
71 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux des Eaux-chaudes
72 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Sorède
73 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Laroque
74 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Boulou
75 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Amélie-les-Bains
76 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Vernet-les-Bains
77 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Canaveilles-les-Bains
78 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Thues-les-Bains
79 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Saint-Thomas
80 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Usson
81 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Mérens
82 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Salles
83 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Loudenvielles
84 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Tramzaygues
85 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Barèges
86 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Barzun
87 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Saint-Sauveur
88 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Labassère
89 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Gazost
90 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Beaucens
91 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Sainte-Marie
92 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Aulus-les-Bains
93 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Audinac
94 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Bagnères-de-Bigorre
95 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Ussat-les-Bains
96 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Saleich
97 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Ganties-les-Bains
98 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Labarthe-Rivière

99 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Encausse-les-Thermes

100 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Barbazan

101 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Capvern

102 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux d'Eaux-Bonnes

103 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Saint-Christau

104 - Diagrammes semi-log des analyses des eaux de Cambo-les-Bains.

B I B L I O G R A P H I E

ABREVIATIONS

B.R.G.M. - Bureau de Recherches Géologiques et Minières

C.N.R.S. - Centre National des Recherches Scientifiques.

ALOY, VALDIGUIE et AUBER . - Recherches sur les eaux d'Ussat (Ariège), 6 p. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climato., Tome III - 1925.

ANNALES DES MINES . - Nomenclature des Sources d'eaux minérales françaises. (extrait de la Statistique de l'Industrie minérale pour 1961), Bureau de Documentation Minière, Paris - 1961.

ANNUAIRE DES STATIONS THERMALES ET CLINIQUES et des établissements médicaux français, 88° édition (l'Office thermal et touristique), 405 p., Editeur l'Expansion Scientifique française - 1957.

ASTRE Gaston . - La notion de plis forcés Pyrénées et la diversité qui en découle pour les failles thermominérales, 12 p.
Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie, Tome VI - 1929.

ASTRE G. . - Les eaux thermominérales des Pyrénées françaises et leurs groupements géologiques.
XIV° Congrès d'Hydr. clim. et Géol. médicales.
Rapport Paris sept. 1933, 23 p.

AYMERIE d' M. . - Guide pratique d'Ax-les-Thermes, Foix

BALENCIE Dr F. . - L'eau minérale de Beaucens (Hts Pyr.), Paris

BAQUE Dr. S. . - Les eaux sulfureuses de Luchon, leur origine, leurs propriétés physiques et chimiques, Paris .

BARDET G. . - Hydrologie générale, Généralités, 13 p. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie, Tome Ier, Paris - 1923.

BARDET G. . - Hydrologie générale. Notions d'hydrogéologie. Origine et formation des Eaux minérales, 31 p. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie, Tome II, Paris - 1924.

BARDET G. . - Hydrologie générale, 9 p. Origine et formation des eaux minérales. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie, Tome II, Paris - 1924.

BECHAMP A. . - Analyse des Eaux minérales acidulées-alcalines ferrugineuses du Boulou, Perpignan - 1869.

BERNY Dr. F. . - Etablissement thermal de La Preste (près Prats-de-Mollo), Narbonne - 1890.

BERT J.M. . - Pyrénées et Bassin d'Aquitaine, 3 p. Précis de pharmacologie et de thérapeutique... - 1964.

BERTRAND Paul . - Contribution à l'étude des Eaux minérales de Barbazan, Thèse de Doctorat, Toulouse, 115 p. - 1950.

Bertrand de GORSSE Dr. . - Le thermalisme dans les Pyrénées, 38 p. Ann. de la Fédération Pyrénéenne d'Economie montagnarde, Tome XII - 1946.

BEZANSON Jean-Pierre . - Contribution à l'étude géologique de la bordure méridionale des massifs granitiques de Cauterets et des Eaux-Chaudes, Pyr. Centrales, Doct. 3° cycle - 1964.

BOUVIER . - Bagnères-de-Bigorre, Zone d'émergence des sources thermales, rapport géologie, Toulouse - 1966.

BOYER Dr. E. . - Ax-les-Thermes - 1913.

BOYER Dr J. . - Ax-les-Thermes - 1931.

BRESSON A. . - Etudes sur les formations anciennes des Hautes et Basses-Pyrénées, 278 p. - 1903.

BRUSTIER, Professeur . - Analyses des eaux Argelès-Gazost, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Toulouse - 1957.

BRUSTIER V., VIGNES R. . - Analyse chimique des eaux thermales de Bagnères de-Bigorre, Faculté de Médecine et Pharmacie de Toulouse - 1954.

CASTAGNE Robert . - Radioactivité des Eaux de Bagnères-de-Bigorre 10 p. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie, Tome VI, Paris - 1928.

CASTANY G. . - Traité pratique des eaux souterraines (chapitre 23 Eaux thermominérales), Dunod, Paris - 1963.

CASTERA M. . - Esquisse structurale du versant Nord des Pyrénées, 16 p., 1 carte. Congrès géologique international, Alger - 1952.

CAUJOLLE F., GROS J., PAGES B. - Les Griffons sulfurés de Luchon. Le groupe central, Toulouse pharmaceutique, tome V, n° 2 - 1958.

CAUJOLLE F., STANISLAS E., FLEUTIAUX P. - Les griffons sulfurés de Luchon, Groupe Sud, Toulouse pharmaceutique, Tome V n° 1 - 1958.

CAUJOLLE F., STANISLAS E., GROUT R. - Les griffons sulfurés de Luchon, considérations générales, Toulouse pharmaceutique, Tome V, n° 1 - 1958.

CAUJOLLE Dr. F. . - Les sources sulfurées sodiques du massif de Querigut. Ann. de la fédération pyrénéenne, VI - 1937.

CAUJOLLE Dr. F. . - L'industrie thermale des Pyrénées. Ann. de la fédération pyrénéenne, Tome VIII, p. 179 - 1939.

CAZAUX P. . - Classification chimique des eaux minérales, 10 p. Précis de pharmacologie et de thérapeutique... - 1964.

CAZAUX ., CANELLAS J., THOMASSIN R. - Contribution à la connaissance de la constitution chimique des eaux sulfurées. Barèges, Barzun, St Sauveur et Uriage, 28 p. Ann. de l'Institut d'Hydro. et de climatologie, Tome XXV - 1954.

CAZAUX pierre . - La chimie des eaux souterraines, 11 p. Publications du Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux - 1953.

CHARRIN V. : - Les sources française d'eaux minérales. Génie civil Fr., t. 138, n° 15-16, p. 342.

CHARTRES Colette . - Bagnères-de-Bigorre, thèse de doctorat, Bordeaux - 1966.

CHASSEVANT Allyre . - Essai de classification des Eaux minérales d'après leur constitution et leurs propriétés physico-chimiques, 22 p.
Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie, Tome IV, Paris - 1926.

COMET-CALVET Dr. . - Traitement de l'Hypertension artérielle par les eaux sulfurées calciques et magnésiennes d'Aulus-les-Bains (Ariège), thèse doctorat, Toulouse - 1956.

COURRENT Dr. . - L'Aude thermal.
Ann. de la fédération pyrénéenne, VI - 1937.

CREYX Dr. M. . - Les eaux minérales, 14 p. imp. Gounouilhou, Bordeaux - 1931.

FOURMENT Daniel (Pierre-François). - La barégine des eaux sulfurées sodiques de Barèges, thèse de Doctorat, Bordeaux, 121 p. 5 pl., Impr. J. Céroude - 1921.

DAUPEZ Louis . - Contribution à l'étude des eaux termo-minérales de Capvern (Hautes-Pyrénées), thèse de Doctorat, Toulouse, 106 P., 24 fig., Impr. Parisienne, Toulouse - 1933.

DEGUIRAL Dr. . - L'Ariège et l'Hydrologie ariégeoise, thermalisme ariégeois.
Ann. de la fédération Pyrénéenne, Tome V, - 1936.

DELORE P. et MILHAUD M. . - Précis d'Hydrologie et de climatologie clinique et thérapeutique, 538 p., Doin, Paris, - 1952.

DESGREZ H., BIERRY H., LESCOEUR L. - Contribution à l'Etude des eaux sulfurées, 20 p.
Ann. de l'Institut d'Hydrologie et Climatologie, Tome II, Paris - 1924.

DESTOMBES S.P. . - Etude hydrogéologique de la région d'Ax-les-Thermes (Ariège)
Bulletin du B.R.G.M., Edition Technip, 7, Rue Nélaton, Paris XV° - 1962.

DESTOMBES J.P. . - Sources minérales d'origine triasique des Pyrénées françaises ; leurs indications économiques. Mémoire du B.R.G.M., éditions Techniq 1963

DIEUDONNE Dr. . - Sanatorium de Cambo (Basses Pyrénées).

DIEULAFE Dr. L. . - Les Pyrénées thermales, 105 p., Libr. J.B. Baillière et Fils - 1918.

DRESCH Dr . - Ax-les-Thermes, Bordeaux - 1917.

DUBARRY J. . - Les eaux minérales de Labarthe-de-Rivière (Haute-Garonne), 91 p. Impr. D'Ecos et Olivier - 1920.

DUMAS Max . - Géographie physique. Les Pyrénées, 12 p., Edsco Documents. Les pyrénées française, R. Brunet, M. Dumas - 1961.

DUFRENOY S. et MOLINERY . - Etudes biologiques sur les Eaux de Luchon, Cahors - 1921.

DURAND-FARDEL, LE BRET . - Dictionnaire général des eaux minérales, 2 volumes, 1664 p., J.B. Baillère et Fils, Paris - 1860.

LES EDITIONS PYRENEENNES . - Bagnères de Bigorre (Hautes Pyrénées).

L'ETABLISSEMENT DE BARZUN . - Barèges (Hautes-Pyrénées). - 1937

FERRAS Dr. . - Luchon. Extrait de la "Gazette des Eaux", Août 1911, Issoudun - 1911.

FILHOL M.E. . - Eaux minérales des Pyrénées. Recherche (comprenant l'étude de l'action thérapeutique, la constitution chimique de ces eaux, et la comparaison des ressources que les principaux établissements des Pyrénées), 1 vol.,540 p., 3 pl. hors texte. Libr. Victor Masson, Paris - 1853.

FOURMARIER P. . - Hydrogéologie, 2° édition, Masson et Cie, Paris - 1958.

FOURMENT Daniel . - La Barégine des eaux sulfurées sodiques de Barèges, thèse doctorat, Bordeaux - 1921.

Docteur FRAIKIN . - Eaux minérales de Beaucens (Hautes-Pyrénées) (Analyses de E. COUTAL et A. CARNOT).

GALLARD Docteur Frank . - Les eaux chlorurées-sodiques de la région pyrénéenne - conférence faite à la Faculté des Lettres de Toulouse - Bayonne - 1898.

GERALD A., WARING . - Thermal spring of the United Stats and other Countries of the World a Summary. Geological Survey professional paper, 492, 383 p., 82 pig. United Stats government printing office, Washington. - 1965.

GESLIN M. . - Etude des Eaux de la région de Cauterets (Hautes-Pyrénées), 4 p. Ann. de l'Institut d'hydro. et de climatologie, tome XXV - 1954.

Docteur GESNA . - Vernet-Les-Bains (Pyrénées-Orientales). Ses ressources thérapeutiques, ses indications, Marseille - 1925.

GLENARD R. . - Bagnères de Bigorre. - 1908.

GOGUEL J. . - Eaux minérales. Rapport général. Soc. Hydrothech Fr. C.R. 6es Journ. Hydraul. (Nancy 1960), t. 2, p. 483-485 - 1961.

GRIMAND Docteur A. . - Barèges et ses eaux minérales. Cazaux-Tarbes - 1881.

Docteur GUILLEMAIN . - La station thermale de Capvern-les-Bains (Hautes-Pyrénées), Bordeaux - 1918.

JACOB Ch. . - Livre Jubilaire (Soc. géologique de France) Zone axiale versant nord et versant sud des Pyrénées - 1930.

JADIN F. et ASTRUC A. . - Précis d'Hydrologie et de Géologie. 1 vol., 629 p., 1 fig. hors texte. Editions médicales N. MALOINE, 27, rue de l'Ecole-de-Médecine, 27 Paris - 1932.

JALIBERT Docteur R. . - Le soufre thermal à Vernet-Les-Bains, Roca-Prades - 1961.

JACQUOT E. et WILLM . - Les eaux minérales de la France (Etudes chimiques et géologiques). 1 vol., 602 p., 21 fig., 1 pl. hors-texte Lib. Béranger, Paris - 1894.

JOURNAL DE BAREGES . - Organe de la Société Médicale de Barèges - 1933.

LAGARDE Docteur R. . - La station thermale-climatique, Amélie-les-Bains - (Pyrénées Orientales).

LAMARQUE Henri . - Eaux minérales des Pyrénées, de la Montagne Noire, de la Corse, de l'Algérie et de la Tunisie, Paris - 1910.

LAMARQUE Henri . - Les Eaux-Bonnes (Basses-Pyrénées).

LAMBRON Docteur Ernest . - Les Pyrénées et les eaux thermales sulfurées de Bagnères-de-Luchon.
2 volumes, 1108 p. 5 pl., Libr. Centrales de Napoléon choix et Cie.

L. de LAUNAY . - Sources thermo-minérales, Origine des eaux thermominérales, géologie, propriétés physiques et chimiques, 642 p., 150 fig. Libr. Polytechnique BAUDRY, Paris - 1899.

LEPAPE A. . - Etude des Gaz d'Ax-Les-Thermes,
Ann. de l'Institut d'Hydro. et de Climatologie, Fasc. I, 1947. - 1947.

MASSY R. et DUFRENOY J. . - Le pH des Eaux thermales de la vallée de Barèges (6 p.),
Ann. de l'Institut d'hydrologie et de climatologie tomme VI, Paris - 1928.

MASSY R. . - Contribution à l'étude physico-chimique des eaux de Barèges.
Extrait des Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie, t.V., n° 4, 1927,
Paris Collège de France -1927.

MASSY R. . - Sur l'altération des Eaux sulfureuses de Barèges (7 p.).
Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie, tome VI, Paris -1929.

MENGEL Octave . - Distribution orogénique des eaux thermales et Minérales de l'extrémité orientale des Pyrénées, ann. de la Fédération pyrénéenne d'Economie montagnarde, tome VII,
Ateliers Apta-France, Toulouse - 1938.

MONTANER Henry . - Contribution à l'étude des eaux thermo-minérales de Molitg-les-Bains, 84 p.,
Imprim. du Commerce, Toulouse - 1953.

Léon MORET . - Les sources thermominérales, Hydrogéologie Géochimie - Biologie, 1 vol., 146 p., 48 fig., Masson et Cie, Paris - 1946.

MORETTE A. . - Précis d'Hydrologie, 532 p. Masson, Paris - 1964.

MOULET André . - Contribution à l'étendue des Eaux minérales de Siradan, Thèse de Doctorat, 96 p. - 1952.

NOGUES Docteur Jean . - Le thermalisme dans les Pyrénées-Orientales (20p.), ann. de la Fédération pyrénéenne d'Economie montagnarde, tome XII, - 1946.

OUSTRIN Jean . - Contribution à l'étude de la radioactivité des eaux de Luchon, Toulouse - 1958.

PEYROT Docteur J. . - Le soufre de Cauterets (Hautes-Pyrénées). Laboratoire de recherches des Etablissements thermaux de Cauterets.

POUY Docteur Jean . - Etude des Eaux sulfatées calciques de Capvern ses applications thérapeutiques, Tarbes - 1928.

POUY Roger . - Les eaux de Capvern.
(La cure de diurèse, les indications).
105 p., Impr. Berthoumieu - Toulouse - 1936.

PRESSE MEDICALE . - Les villes d'eau et stations climatiques françaises, 79 p. Paris - 1934.

ROBINE Docteur René . - Barèges, Journal de pharmacie et de chimie fondé en 1809, Comité de rédaction : MM. VILLE-JEAN, MOUREU etc..., 8ème série, t. VII, Paris - 1928.

J. RODIER . - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau.
Dunod, Paris - 1960.

Docteur SENTES . - Barbazan et ses indications thérapeutiques, ses installations hydrothérapiques, Paris.

SHOELLER, H. . - Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, exploitation et évaluation des Ressources, 642 p., 187 fig. - 1962.

SCHOELLER H. . - Géochimie des eaux souterraines, 1 vol. 213 p., 48 fig. - 1955.

SCHOELLER M. . - Recherches sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. Thèse de Doctorat d'Etat, 1 vol., 231 p., 30 fig. - 1963.

SOCIETE DES EAUX DE BAREGES, SAINT-SAUVEUR . - Notice sur Barèges (Hautes-Pyrénées), Tarbes.

SOCIETE FRANCAIRE D'HYDROLOGIE ET DE CLIMATOLOGIE MEDICALES . - Précis de pharmacologie et de thérapeutique. Hydrominérale des principales stations thermales françaises, 1 vol. 488 p., 4 fig. L'expansion scientifique française, Paris - 1964.

SORRE Max . - Les Pyrénées - Description complète de la chaîne, Collc. A. COLIN, Paris - 1956.

SOYER R. . - Hydrogéologie d'Ussat-les-Bains (Ariège) 21 p.
ann. de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie 1947, tome XVIII - 1947.

TERNET Yves . - Eaux-Chaudes .
Thèses de 3ème Cycle, Toulouse - 1965.

TILLOT Docteur E. 1 . - Les eaux ferro-cuivre de St-Christau (Basses-Pyrénées), Paris - 1884.

TOUPLAIN M.F. . - Du régime des Sources hydrominérales, déterminations physico-chimiques à effectuer sur le terrain, 31 p., ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie, tome IV, Paris, 1928.

URBAIN P. . - Géochimie et hydrogéologie des enveloppes aqueuses et des eaux thermominérales, 114 p.
Libr. Scientifique et technique Albert Blanchard, 9, rue de Médiers, Paris - 1967.

URBAIN Professeur . - Géodynamique
Géochimie des enveloppes aqueuses et Hydrologie thermale - Le massif de Cauterets, 2 p.
121 p, 21 fig., Paris - 1964.

URBAIN P. . - Les sources thermo-minérales en France, Etude géologique, 10 p.
Précis de pharmacologie et de therapeutique hydrominérale des principales stations thermales françaises.

URBAIN P. . - Introduction à l'Etude hydrogéologique des Pyrénées françaises, 26 p. 2 fig., 2 cartes ann. de l'Institut d'Hydrologie et climatologie, tome 2, Paris- 1924.

URBAIN P. . - Introduction à l'Etude hydrogéologique des Pyrénées françaises. Les sources thermales de la zone axiale 34 p., 3 cartes, 5 fig. ann. de l'Institut d'Hydrologie et climatologie, tome IV, Paris - 1926.

URBAIN P. . - Analyse des Eaux minérales de Cauterets, 54 p., 7 fig. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie, tome V n° 2 1927.

URBAIN P. . - Sur les relations du débit des sources thermales avec leur température, Bagnères-de-Luchon.

URBAIN P. . - Introduction hydrogéologique d'Ax-les-Thermes. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie Fasc. I, 1947.

P. URBAIN, Mlle LAGRANGE, R. HOURS et M. GESLIN . - Sur l'emploi des traceurs radioactifs sur le terrain en géologie et hydrologie. Expériences de Cauterets et Luz 20 p. Ann. de l'Institut d'Hydrologie et de climatologie - tome XXV - 1954.

VIGNES R. . - Contribution à l'étude des eaux minérales de Bagnères-de-Bigorre, Toulouse - 1955.

CARTES CONSULTEES

- Carte géologique de la France au 1/80 000. Feuille de : Bayonne (226), Mauléon (239), Luz (251), Tarbes (240), St-Gaudens (241), Bagnères-de Luchon (252), Ariège (253), Quillan (254), Prades (257), Céret (258).

- Carte géologique de la France 1/320 000,

- Carte géologique-Casteras 1/500 000 et 1/1000 000,

- Carte géographique des Pyrénées 1/500 000,

- Carte géographique des Pyrénées 1/200 000 (Michelin, n° 85 et 86),

- 22 Cartes topographiques des Pyrénées 1/50 000.

*

* *